

昆明新机场 特殊地基处理研究

晏 宾 赵跃平 李崎洁 ©

著



西南交通大学出版社
· 成 都 ·

航空运输是山区高原等陆地交通工程修建困难地区提升交通运输能力的重要发展方向。昆明新机场是国家“十一五”重点建设项目。建成后的昆明新机场将成为我国面向东南亚、南亚和连接欧亚的国家门户枢纽机场。昆明新机场的修建事关该地区的长治久安和高质量发展，具有重大的现实意义和深远的战略意义。

昆明新机场场区地处高原山地岩溶发育地区，地形地貌、工程地质条件和水文地质条件复杂，存在岩溶、红黏土、高填方、断裂破碎带等多种特殊地基条件，极易发生沉降及差异沉降，是机场建设的主要岩土工程问题。对场区岩溶、红黏土、填料、断裂破碎带等特征及地基处理方法进行深入分析研究，提出相应处理方法极为重要。

本书在充分分析研究场区岩溶、红黏土、各类填料、断裂破碎带等特征的基础上，综合采用资料统计、现场试验检测、现场调研、理论分析、数值计算等多种手段，对不同地基处理方法的适用性进行深入研究，提出了不同条件下的施工方法及施工技术参数，为昆明新机场特殊地基处理设计及施工提供指导意见和依据。

本书共 8 章：第 1 章为绪论，提出问题，阐明研究的意义，总结研究内容；第 2 章为工程地质条件，着重对昆明新机场的地形地貌、地层岩性、地质构造和水文地质条件进行阐述；第 3 章为岩溶发育规律和基本特征，经过搜集勘探资料、现场调研并进行数理统计，对场地内岩溶特征及其地表地下分布规律进行分析总结，为下一步地基处理提供切实可行的基础性资料和依据；第 4 章为岩溶地基处理方法研究，通过现场试验、理论计算以及数值模拟等多种方法，对不同岩溶地基类型处理进行深入研究，提出了不同岩溶类型的地基处理方法及相应的设计参数；第 5 章为红黏土地基处理方法研究，经过现场试验，对地表地下红黏土处理前后效果及有关物理力学参数进行对比研究，提出不同深度红黏土地基处理方法及相应设计参数的结论；第 6 章为填土地基处理试验研究，通过对不同填料进行碾压试验、击实试验等，提出昆明新机场不同填料的最佳施工技术参数；第 7 章为 F_{10} 断层破碎带碎裂岩地基处理研究，采用调查及现场试验等手段，重点对 F_{10} 断裂及其相关断裂区域特征、分布及断层破碎带物理力学性质进行研究，为断层破碎带地基处理提供建议；第 8 章为地基处理准则，对不同特殊地基处理方法、参数以及检测方法进行总结，作为昆明新机场地基处理的原则性规定。本书的研究成果已全部应

用于昆明新机场工程实践中，同时也为今后类似机场项目提供了借鉴。

本书在编写期间得到了四川省勘察大师赵跃平的大力支持和指导。感谢中国建筑西南勘察设计研究院有限公司的黄练红、王亨林、刘建锋、张洪、叶军锋、吴代兵、汤维武、张伟锋、王少梅、李瑜等在昆明新机场勘察工作中的辛勤劳动和付出。感谢所有为本书的出版付出努力的同仁。

感谢本书所参考资料的作者，由于你们的宽宏允许，本书内容才得以完善。

由于作者水平有限，书中难免有不足之处，敬请同行及专家批评指正。

作者
2022年8月

1	第1章 绪论	
	1.1 研究意义	2
	1.2 研究内容	2
2	第2章 工程地质条件	
	2.1 地形地貌	6
	2.2 地层岩性	7
	2.3 地质构造	14
	2.4 水文地质条件	22
3	第3章 岩溶发育规律和基本特征	
	3.1 岩溶的基本类型	34
	3.2 岩溶发育的基本特征	42
	3.3 地表岩溶的分布和发育规律	44
	3.4 地下岩溶的分布和发育规律	67
	3.5 本章小结	117
4	第4章 岩溶地基处理方法研究	
	4.1 一般规定	120
	4.2 地表岩溶的地基处理	120
	4.3 地下岩溶的地基处理	144
	4.4 本章小结	173
5	第5章 红黏土地基处理方法研究	
	5.1 一般规定	176
	5.2 地表处理	178
	5.3 地下处理	188
	5.4 本章小结	195
6	第6章 填土地基处理试验研究	
	6.1 红黏土碾压试验	198
	6.2 陡坡寺组强风化料碾压试验	207
	6.3 陡坡寺组中微风化料碾压试验	216
	6.4 本章小结	229



第7章 F_{10} 断层破碎带碎裂岩地基处理研究

- 7.1 F_{10} 断裂及其相关断裂区域特征232
- 7.2 断层破碎带物理力学性质研究272
- 7.3 断层破碎带基础形式及地基处理建议283
- 7.4 本章小结285



第8章 地基处理准则

- 8.1 土洞和溶洞处理288
- 8.2 岩溶漏斗等其他岩溶处理289
- 8.3 红黏土和其他黏性土地基处理289
- 8.4 F_{10} 断层处理291
- 8.5 地基处理效果检测292

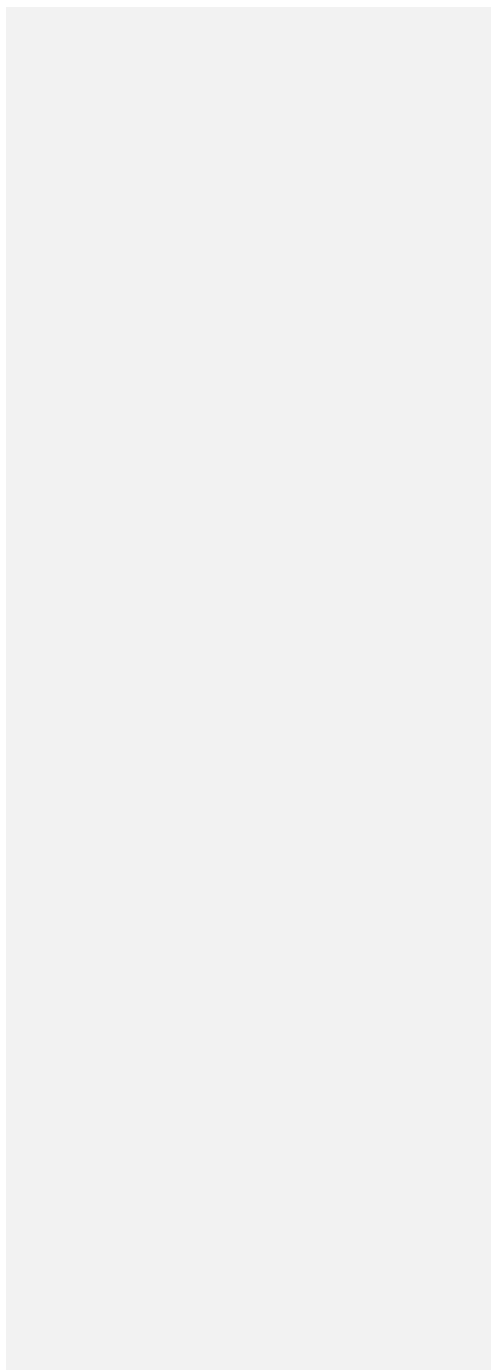
结 语295

参考文献297

CHAPTER

1

第 1 章
绪 论



1.1 研究意义

昆明新机场是国家“十一五”重点建设项目。建成后的昆明新机场将成为我国面向东南亚、南亚和连接欧亚的国家门户枢纽机场。机场规划建设两组共4条跑道,满足F类机型使用。本期工程主要包括:新建两条跑道,其中东跑道长4000m、宽60m,西跑道长4000m、宽45m,航站楼建筑面积58.42万平方米。

昆明新机场场区地处岩溶发育地区,地形条件、工程地质条件和水文地质条件复杂,场区内的红黏土具有特殊的岩土结构特征和工程特性,同时又具有高填方、超大土石方量、穿越断裂破碎带、强地震、功能分区多、建设环境复杂、相互影响因素多等特点。其填方高度最高超过50m,因此机场高填方地基的沉降与差异沉降、地震条件下地基及边坡的稳定性、岩溶稳定性等工程问题尤为突出。

昆明新机场复杂环境条件下高填方地基工程是一个三维的、非线性的复杂系统工程,其地基沉降和稳定性、高边坡稳定性受多种因素的影响,如原地基土层分布与岩土特性、地基处理方法和效果、填筑料的岩土特性、碾压压实度、填筑速率、工程措施以及排水措施情况等,这些因素共同构成了影响高填方地基沉降和稳定性的内部因素;而在运行过程中,飞机使用荷载、降水与突发地震等因素构成影响高填方稳定性的外部因素。该机场高填方地基工程不仅要考虑原地基和高填方体本身的变形与稳定性控制,还要考虑地势、排水、土石方材料特性、道面结构、施工标段划分以及施工工艺和外部环境的变化等复杂情况的影响。

昆明新机场存在岩溶、红黏土、断裂破碎带、高填方等特殊地基,是机场建设的主要岩土工程问题。本专题在充分研究分析场区岩溶、红黏土、断裂破碎带等特征的基础上,对岩溶地基、红黏土地基、填土地基、断层碎裂岩地基等各类特殊软基进行专题研究,并提出了相应处理措施和方法,为机场建设工程提供研究成果,对类似工程地质条件的特殊软基工程处理具有指导作用和借鉴意义。

1.2 研究内容

1.2.1 岩溶发育规律和基本特征

昆明新机场场区属岩溶区,不良地质作用——岩溶非常发育,这些岩溶包括地表岩溶、地下岩溶。地表岩溶包括岩溶洼地、岩溶漏斗、落水洞及石芽、溶沟、溶槽等岩溶形态;地下岩溶包括溶洞、土洞、地下暗河和地下溶蚀带。地表岩溶和地下岩溶组成了复杂的岩溶系统,形成了独特的岩溶地质条件。查清建设场地的岩溶基本特征,分析岩溶的发育规律,对岩溶地质的评价有着非常重要的作用。建设场地的岩溶基本特征分析主要包括下列内容:

- (1) 地表岩溶的分布、规模、形态、基本特征和发育规律。
- (2) 溶洞和地下暗河的分布规律、发育规模、洞体形态、埋置深度、填充情况和发育规律。
- (3) 土洞的分布规律、发育规模、洞体形态、埋置深度和发育规律。
- (4) 地下溶蚀带的分布规律、发育规模、洞体形态、埋置深度、填充情况和发育规律。

1.2.2 岩溶地基处理方法研究

岩溶在我国是一种相当普遍的不良地质作用,在一定条件下可能发生地质灾害,严重威胁工程安全。特别是在大量抽取地下水使水位急剧下降时,易引发土洞的发展和地面塌陷。机场有航站楼、塔台、飞机跑道、滑行道和停机坪等重要建筑物,机场平整产生的大量高填方荷载会对地基的变形产生重要作用,而这些重要建筑物对地基的要求较高;因此,在机场建设过程中,岩溶产生的不良地质作用对机场工程影响很大,需要对不同的岩溶问题进行研究、分析和评价,分析岩溶对机场的影响,提出合理的地基处理方法。岩溶地基处理方法研究主要包括下列内容:

- (1) 地表岩溶处理。
- (2) 地下岩溶处理。

1.2.3 红黏土地基处理方法研究

红黏土地基处理方法是通过对场地内红黏土特征进行研究及现场试验,提出适应于昆明新机场的红黏土地基处理方法及施工参数。其主要内容包括:

- (1) 地表红黏土处理。
- (2) 地下红黏土处理。

1.2.4 填土地基处理试验研究

昆明新机场填方填筑量巨大,主要填料成分为红黏土、陡坡寺组强风化及中微风化岩石,整个场区陡坡寺组料储量约5000万立方米。为此,我们对红黏土及陡坡寺组强风化、中微风化料进行碾压试验,取得了比较系统的试验成果,对土石方填筑给出了施工建议参数,并提出了处理方法建议。其主要内容包括:

- (1) 红黏土碾压试验。
- (2) 陡坡寺组强风化料碾压试验。
- (3) 陡坡寺组中微风化料碾压试验。

1.2.5 航站楼区 F_{10} 断层破碎带碎裂岩地基处理研究

F_{10} 断层破碎带碎裂岩地基处理研究是在前期已有 F_{10} 非活动断裂研究基础上,进一步开展其分布特征及断层破碎带物理力学性质研究,并对断层破碎带部位的基础形式及地基处理提出建议。其主要内容包括:

- (1) 航站楼区 F_{10} 断裂及其相关断裂区域特征研究。
- (2) 断层破碎带物理力学性质研究。
- (3) 断层破碎带基础形式及地基处理建议。

CHAPTER

2

第 2 章
工程地质条件

2.1 地形地貌

昆明新机场场区地貌总体以岩溶地貌为主,其次为构造剥蚀丘陵地貌和冲洪积堆积地貌。根据地貌的成因与形态,可将工程区划分为三个地貌单元区:岩溶地貌(Ⅰ)、构造剥蚀地貌(Ⅱ)及冲洪积堆积地貌(Ⅲ)。

1. 岩溶地貌(Ⅰ)

岩溶地貌主要为剥蚀溶蚀平原、剥蚀溶蚀丘陵,占场地面积的 $3/4$ 。其地面标高为 $2\ 070\sim 2\ 100\text{ m}$,相对高差在 50 m 左右,地面波状起伏,坡度平缓,是云南高原面的残留部分。微地貌形态有溶沟、石芽、溶脊、溶槽、岩溶漏斗、溶蚀洼地、落水洞、溶蚀槽谷等。其中,地面标高在 $2\ 090\text{ m}$ 以上的丘陵区(如浑水塘采石场、横山采石场)植被较发育,地表被红黏土覆盖,以埋藏溶沟、石芽、溶脊、溶槽为特征。区内碳酸盐岩分布区共发现岩溶漏斗约 600 个,密度为 28 个/ km^2 。岩溶漏斗多呈椭圆形,少量呈圆形、似长方形,岩溶漏斗底部一般发育有落水洞或消水坑。漏斗长度一般为 $50\sim 100\text{ m}$,最大长度约为 192 m ;宽度一般为 $30\sim 50\text{ m}$,最大宽度约为 110 m ;深为 $3\sim 12\text{ m}$;面积一般为 $500\sim 5\ 000\text{ m}^2$,最大约为 $11\ 000\text{ m}^2$;长轴走向也具一定规律性(图 2.1-1)。



图 2.1-1 岩溶地貌

2. 构造剥蚀丘陵地貌(Ⅱ)

构造剥蚀丘陵地貌分布于场地中西部烟堆山—马鞍山—大山及其东侧,占场地面积的 11% ,主要受断裂构造控制。其地面标高一般为 $2\ 070\sim 2\ 100\text{ m}$,最高点为大山($2\ 193\text{ m}$),最低点为 $2\ 060\text{ m}$,最大高差约为 133 m 。构造剥蚀丘陵地貌分布区覆盖层较厚,植被发育,以杂草、灌木、针叶林、阔叶林混交(图 2.1-2)。



图 2.1-2 构造剥蚀丘陵地貌

3. 冲洪积堆积地貌 (III)

冲洪积堆积地貌主要发育于场区西北部的荷包地、乌撒庄和浑水塘—张家坡地区。其地形地貌表现为平原和冲沟沟谷,面积约 2.98 km²;坡度为 3°~7°,局部地段大于 10°(图 2.1-3)。



图 2.1-3 冲洪积堆积地貌

2.2 地层岩性

昆明新机场场区在地层区划上位于华南地层大区、扬子地层区、康滇地层分区、昆明地层小区,东邻上扬子地层分区曲靖小区,西接康滇地层分区楚雄小区。区内出露的地层主要为古生界和第四系。

依据《云南省岩石地层》(张远志主编,1996)的清理结果,参照 1:5 万大板桥镇幅区域地质图及报告(云南省地矿局,1986),结合场区 1:2 000 地质填图的成果,将场区出露的地层划分为 12 个岩石地层单位(表 2.2-1)。其中:古生界(基岩地层)划分为 9 个组(其中阳新组细分为 2 个段),上覆第四系划分为 2 个层。整个场区内出露的地层在特征上有一定的差异,但总体上地层分布受区域羊桃箐—苏家坟断裂(F₁₀)的控制较为明显。该断层北东盘为机场主体场区,其地层总体呈北东—南西向展布,岩层缓倾为主,褶皱发育;南西盘出露的地层主要为倒石头组(P_{1d})及阳新组(P_{1y}),其地层展布为北西—南东东走向,倾向南西,倾角平缓,岩溶地貌发育。

表 2.2-1 昆明新机场场区岩石地层

系	统	组	段(层)	代号	厚度/m	岩性组合及特征
第四系			冲洪积层	Q ₄ ^{al+pl}	>35	主要分布于李白冲、浑水塘等山间盆地中,岩性为黏性土
			残坡积层	Q ₄ ^{el+di}	<20	岩性一般为黏性土;碳酸盐岩区地表分布有红黏土,细碎屑岩分布区为浅黄色、褐黄色含角砾黏性土
二叠系	下统	阳新组	茅口段	P _{1y} ²	>230	浅灰、灰白色厚层—块状白云质“豹斑”微晶灰岩、生物碎屑灰岩,夹灰色中—厚层状微晶灰岩;上部见似层状、透镜状浅紫灰色块状角砾状灰岩(同生砾岩);砾石成分以浅灰—灰白色粉—细晶白云岩、白云质灰岩为主,微晶灰岩次之,砾径为 3~25 cm,以 3~10 cm 为主,呈次圆状,分选性差—中等;钙泥质胶结为主

续表

系	统	组	段(层)	代号	厚度/m	岩性组合及特征
			栖霞段	P _{1y} ¹	82	浅—深灰色厚层状泥—微晶灰岩、生物碎屑灰岩,局部见方解石细脉、网脉、团块及晶洞
			倒石头组	P _{1d}	6~15	褐黄色、黄灰色页岩,铝土质泥岩,夹夹黑色砂质泥岩、黑色铁质泥岩、煤线及劣质煤
石炭系	中统	威宁组		C _{2w}	93	浅灰、灰白色厚层—块状微晶灰岩、砂屑灰岩、生物碎屑灰岩,底部为粗晶灰岩
	下统	大塘组		C _{1d}	37	灰白—肉红色中—厚层状砂屑灰岩、生物碎屑灰岩夹细粒灰岩透镜体;底部有不连续的紫红、黄绿色薄层钙质泥岩、泥灰岩夹铝土质页岩、透镜状粉砂质铝土岩
泥盆系	上统	宰格组		D _{3z}	>123	岩性组合为顶部灰、棕灰、肉红色砂屑白云岩、砾屑白云质灰岩、泥质白云岩、粉—细晶白云岩及角砾状砾屑白云岩;中部浅灰、砖红、褐黄、灰紫色中厚—厚层细晶、粉细晶白云岩夹泥质灰岩及黄灰色薄层白云质泥岩、砾屑白云质灰岩、角砾状灰岩;底部为黄灰、灰紫色厚层角砾状灰质白云岩
	中统	海口组		D _{2h}	122~148	顶部为中厚层浅灰、灰色中—微晶灰质白云岩夹薄层砂岩;中部为深灰色、灰黑色中—厚层状细粒灰岩、砂屑灰岩、生物碎屑灰岩、角砾状砾屑灰岩夹黄灰色薄层泥质细砂岩、砂质泥岩及黑色钙质泥岩,发育瘤状构造;底部为灰白、黄色中层状中—细粒石英砂岩、岩屑石英砂岩夹薄层状页岩
寒武系	中统	双龙潭组		C _{2s}	200左右	浅灰、灰黄、灰紫色,薄—中厚层粉—泥晶白云岩、泥质白云岩,夹少量钙质砂岩及页岩,白云岩中含石盐假晶
		陡坡寺组		C _{2d}	>80 (100左右)	上部灰、黄、黄绿色薄层细砂岩、粉砂质泥岩、页岩、瘤状灰岩互层;下部灰、黄灰色、绿灰色粉砂质泥岩、钙质粉砂岩及页岩夹灰色薄层泥质灰岩及灰岩,或猪肝色、粉红色薄层粉—细粒石英砂岩与砂质泥岩互层;底部黄、褐黄色粉砂质页岩与薄层粉砂岩互层
	下统	龙王庙组		C _{1l}	106.6	灰—深灰色中—厚层状灰岩、泥质灰岩,夹少量含生物化石的薄层砂、页岩;灰岩为主,夹白云质灰岩及白云岩,还夹少量含生物化石的页岩,以灰岩出现为本组的底界

昆明新机场附近范围内的主要地层分述如下:

2.2.1 寒武系

区内见寒武系中、下统共3个岩石地层单位,即下统龙王庙组、中统陡坡寺组和双龙潭组。

1. 下寒武统龙王庙组 (C_{1l})

该组地层呈灰—深灰色,主要为中—厚层状灰岩、泥质灰岩,夹少量含生物化石的薄层砂岩、页岩,夹白云质灰岩及白云岩,还夹少量含生物化石的页岩;以灰岩出现为本组的底界,其厚度为106.6 m。

按照区域定义,该组为一套岩性稳定的灰—深灰色中—厚层状灰岩、泥质灰岩,夹少量含生物化石的砂、页岩薄层之地层序列,以灰岩出现为本组的底界,下与沧浪铺组呈整合接触。在昆明、武定、宜良、华宁等地以灰岩为主,夹白云质灰岩及白云岩,还夹少量含生物化石的页岩。南部石屏、建水地区,为灰色中—厚层状砂泥质白云岩夹多层砂岩。滇东北永善、巧家一带,为一套岩性单一的白云岩或白云质灰岩,局部夹白云质粉砂岩、少量石膏层。在昆明、曲靖地区所见化石以三叶虫为主,主要有 *Redlichia* (*Pteroredlichia*) *murakamii*、*Eoptychoparia yunnanensis*、*Hoffetella elongata* 等,其时代属早寒武世晚期。

该组在武定地区较薄,厚仅40~50余米;嵩明、宜良、华宁地区一般厚100~150 m;石屏、建水地区减薄至35~44 m;滇东北巧家一带厚111 m。

场区该组地层地表呈零星分布,仅见于大山山东侧深切割沟谷底附近有出露,构成背斜核部,北翼产状 $55^{\circ}\angle 17^{\circ}$,向东转为 $85^{\circ}\angle 16^{\circ}$,显示向东倾伏的特征。背斜两侧钻孔 wck13、wck13+1、wck12+1 均见该组地层;在李白冲附近被第四系堆积物所覆盖,但钻孔 wck152、wck157、wck158、wck159 等钻遇该组地层。

2. 中寒武统陡坡寺组 (C_{2d})

该组地层上部为灰、黄、黄绿色的薄层细砂岩、粉砂质泥岩、页岩、瘤状灰岩互层;下部为灰、黄灰、绿灰色的粉砂质泥岩、钙质粉砂岩及页岩夹灰色薄层泥质灰岩及灰岩,或猪肝色、粉红色薄层粉—细粒石英砂岩与砂质泥岩互层;底部为黄、褐黄色粉砂质页岩与薄层粉砂岩互层。其出露厚度>80 m。

该组区域定义为在双龙潭组泥质白云岩之下、龙王庙组白云岩之上的一套地层序列,岩性为灰、黄、黄绿等色组成的薄层砂岩、页岩、瘤状灰岩互层。下部以龙王庙组白云岩消失,本组粉砂岩、粉砂质页岩出现为界;上部以本组砂岩、页岩消失,双龙潭组泥质白云岩或娄山关组白云岩开始出现为界;均呈整合关系。该组生物化石十分丰富,以三叶虫为主,有 *Kunmingaspis yunnanensis*、*Chittidilla plana*、*Sinoptychoparia tuberculata* 等,属中寒武世早期。

该组分布于滇中、滇东北地区,各地岩性、厚度变化颇大。在富民—昆明—杨林为灰、黄灰色泥质碳酸盐岩夹钙质粉砂岩及页岩,或呈互层,厚100 m左右;在宜良、华宁等地,砂泥质略多,厚29~59 m;在石屏为灰黄色泥质白云岩夹含砾砂岩、页岩等,厚20~32 m;在曲靖一带为灰绿及黄色砂、页岩夹灰岩,厚23~30 m;在武定一带为砂页岩与碳酸盐岩互层,厚50~70 m;在镇雄地区为黄灰、深灰色薄—中层状泥质白云岩夹页岩,向东北白云质增多,向西北泥质增多,互呈消长关系,厚50~110 m;在永善—巧家等地,以灰—深灰色薄

层白云岩为主夹少量灰、灰绿色富含化石的砂、页岩，厚 29~64 m；在会泽地区则以黄绿、灰色砂、页岩为主夹少量白云岩，厚 70~95 m。

场区内在大山、大关山、转山、烟堆山、大石桥等地，该组地层产状总体较为平缓，上部由紫灰、灰色薄层石英砂岩、含长石英砂岩夹薄层泥岩和灰、黄灰色泥质白云岩组成，或呈互层，区域厚度在 48 m 左右；下部主要由黄—黄灰—灰色页岩、砂质页岩、粉砂质泥岩、钙质粉砂岩为主组成，区域厚度约为 83 m；顶部为钙质泥岩夹泥质白云岩和少量白云岩向双龙潭组整合过渡。

该套地层地表风化残坡积较厚，南北向平行冲沟发育（如刘家冲），植被总体十分发育。

烟堆山中陡坡寺组砂岩、泥页岩出露宽度明显变窄，其产状变化显示了转山背斜向东侧对歌山明显倾伏的特征。

3. 中寒武统双龙潭组（ C_{25} ）

该组地层为浅灰、灰黄、灰紫色的薄—中厚层粉—泥晶白云岩、泥质白云岩，夹少量钙质砂岩及页岩，白云岩中含石盐假晶，厚约 200 m。其区域定义为由灰、灰黄色中—薄层白云岩与泥质白云岩，夹钙质砂岩及页岩组成，白云岩中常含石盐假晶。其顶部为不同时代地层所覆。其底部以陡坡寺组的灰、黄、黄绿色砂岩、页岩结束，灰色灰岩、白云岩出现为界，呈整合关系。该组仅出露于滇中地区，岩性较稳定，生物化石稀少，在曲靖双龙潭有三叶虫 *Protohedinia yunnanensis*、*Manchuriella shuanglongtanensis*、*Szeaspis xiaoxiangensis* 等的化石，时代属中寒武世中、晚期，与下伏中寒武统陡坡寺组整合接触，与上覆中泥盆统海口组平行不整合接触。

在曲靖，该组厚 265.6 m；在寻甸、宜良一带，其厚度增大至 200~300 余米；在华宁、石屏地区厚 100~176 m。

该组地层在场区内的大关山、转山、马鞍山、烟堆山均可见及，在马鞍山地区转山背斜两翼对称出露。其南翼夹持于下伏中寒武统陡坡寺组和上覆中泥盆统海口组之间，连续呈近东西向延伸；其北翼于李白冲—徐家山北侧一带，呈北东东—南西西向展布，北侧与海口组上段深灰色灰岩呈断层接触，出露面积约占片区面积的 12%。该组地层岩性主要由浅灰白色、浅粉红色的中—厚层泥质白云岩、假鲕状砂屑、砾屑白云岩、粉—泥晶白云岩组成，夹薄层钙质砂岩和紫红色铁泥质条纹，产状在 $330^\circ\angle 30^\circ$ 左右。区域地层厚 114 m。该组在片区内地处阴山坡，自然坡度多达 $20^\circ\sim 30^\circ$ ，地表残坡积层厚，乔木和灌木十分繁茂，岩溶不发育。

在大关山一带，该组主要由浅灰色、浅粉红色的中层泥质白云岩、假鲕状砂屑、砾屑白云岩，粉—泥晶白云岩组成，夹薄层钙质砂岩（具水平纹层），产状在 $137^\circ\angle 13^\circ$ 左右，厚 114 m，仅南端角部对称出露了小面积的白云岩。该组也是区内岩溶漏斗发育的地层之一，总体特征是岩溶漏斗呈串珠状发育，岩溶漏斗规模相对较大。

在烟堆山一带，由于转山背斜向东北倾伏的影响，双龙潭组出露在片区内变窄，其产状变化显示了转山背斜于对歌山明显倾伏的特征。

在西跑道北东端的乌撒庄一小高坡一带，根据钻孔 wck48~wck56、wck29、wck30、wck36~wck39、wck190、wck191 的资料，岩芯为浅灰白色、浅粉红色的中—厚层泥质白云岩、砾屑白云岩、粉—泥晶白云岩夹薄层钙质砂岩和紫红色铁泥质条纹的组合，据其特征可知为双龙潭组无疑。该片区基岩之上坡残积层厚几米至十几米不等，基岩上可见厚几十厘米

至几米不等的紫灰色、褐黄、浅灰黄色强风化含岩屑黏土，近地表部分为厚几十厘米至几米的棕红色全风化黏土层（俗称“红黏土”），显示出风化产物在成熟度上的差异。

2.2.2 泥盆系

区内见泥盆系中、上统共两个岩石地层单位，即中统海口组及上统宰格组。

1. 中泥盆统海口组 (D_2h)

该组地层顶部为中厚层浅灰、灰色中—微晶灰质白云岩夹薄层砂岩；中部为深灰色、灰黑色的中—厚层状鲕粒灰岩、砂屑灰岩、生物碎屑灰岩、角砾状砾屑灰岩夹黄灰色薄层泥质细砂岩、砂质泥岩及黑色钙质泥岩，发育有瘤状构造；底部为灰白、黄色的中层状中—细粒石英砂岩、岩屑石英砂岩夹薄层状页岩；厚约 142 m。

云南省岩石地层清理把海口组 (D_2h) 分为两段，为海口组下段（砂岩段， D_2h^1 ）及海口组上段（灰岩段， D_2h^2 ），但由于场区海口组下段（砂岩段， D_2h^1 ）出露厚度较小，为 3~5 m，且在分布上不连续，因此在报告中没有把海口组分为海口组下段与海口组上段。海口组与上覆地层宰格组 (D_3z) 呈整合接触，与下伏地层双龙潭组 (C_2s) 平行不整合接触。

场区内该段见于乌撒庄、荷包塘、浑水塘、横山北面等地。在马鞍山北部的拟建西跑道北段，该组地层位于荷包塘—乌撒庄南断裂北盘；其在荷包塘南一带则被古河道红土深埋，与中寒武统双龙潭组白云岩呈断层接触。其岩性为深灰色、灰黄色的中—厚层状微—粉晶灰岩、亮晶砂屑灰岩、砾屑灰岩夹沥青质灰岩、黄灰色薄层泥质砂岩、钙质泥质砂岩等；顶部发育 3~5 m 厚黄灰色中层状中—细粒石英砂岩、岩屑石英砂岩、粉砂岩互层。该段也是区内岩溶漏斗主要发育地层之一。

大关山南东部出露的海口组占片区面积的 18% 左右，由深灰色、灰黄色的中—厚层状微—粉晶灰岩、亮晶砂屑灰岩、砾屑灰岩夹沥青质灰岩组成。其底部与中寒武统双龙潭组 (C_2s) 呈平行不整合接触，顶部与宰格组 (D_3z) 底部黄灰色砾屑灰质白云岩呈整合过渡，层厚 153 m 左右，产状为 $126^\circ\sim 130^\circ\angle 30^\circ\sim 36^\circ$ 。该层也是区内岩溶漏斗发育的主要构成地层。

烟堆山出露的该段岩性特点与大关山相同，故不再赘述。其地层分布于北半部，构成一开阔向斜，呈近东—西向展布，两翼对称，南翼灰岩产状为 $0^\circ\sim 15^\circ\angle 10^\circ\sim 13^\circ$ ，北翼灰岩产状为 $170^\circ\angle 10^\circ$ 。该套岩层分布区岩溶洼地和岩溶漏斗较为发育，沿断层可见岩溶漏斗呈串珠状分布。

2. 上泥盆统宰格组 (D_3z)

该组地层岩性组合为顶部灰、棕灰、肉红色的砂屑白云岩、砾屑白云质灰岩、泥质白云岩、粉—细晶白云岩及角砾状砾屑白云岩；中部为浅灰、砖红、褐黄、紫灰色的中厚—厚层细晶、粉细晶白云岩夹泥质灰岩及黄灰色薄层白云质泥岩、砾屑白云质灰岩、角砾状灰岩；底部为黄灰、灰紫色厚层角砾状灰质白云岩；厚度 > 123 m。

根据区域定义，该组以灰、灰微带红色厚层—块状白云岩为主，夹少量灰岩，局部夹灰绿色纸状页岩，厚 219 m，化石甚少，仅见层孔虫、介形类等。其下与海口组连续沉积，上被万寿山组平行不整合超覆，顶底界线十分清楚。该组地层广泛分布于宣威—东川—昆明—玉溪一带。在宣威宝山、银厂等地，其上部为细晶白云岩与灰岩或白云质灰岩互层，下部为白

云岩夹泥(砂)质白云岩,厚 799 m 以上;在宣威榕峰顶、松籽树一带,为细一中晶白云岩夹数层泥质白云岩,顶部为白云质灰岩、蠕虫状灰岩,厚 492~523 m,于板桥东屯一带获腕足类 *Hunanospirifer* sp.、*Cyrtospirifer* sp.;在会泽矿山厂为粉—细晶白云岩,中部夹黄绿色泥质页岩、角砾状灰岩、泥质白云岩,顶部为蠕虫状灰岩,厚 293 m,底部获珊瑚 *Disphyllum* aff. *duyunense*、*Cladopora* sp.及腕足类、介形类;在沾益干沟为灰、灰带微红色中—细晶白云岩,中上部夹角砾状白云岩,顶部为泥晶灰岩夹泥质灰岩、白云岩,厚 526 m,含珊瑚、层孔虫、介形类化石;在嵩明小连登,其下部为灰岩夹含灰岩透镜体的白云岩,中上部为肉红色白云岩、角砾状白云岩、钙质白云岩,中部常夹页岩薄层,顶部为灰岩、生物灰岩,厚 415 m,距底界 33 m 以上获珊瑚 *Disphyllum cylindricum*、*Hunanophrentis* aff. *Zaphrentoides*,时代为晚泥盆世早期;在玉溪小石桥为白云岩及角砾状白云岩,下部夹灰绿色页岩,底部为砂(泥)质白云岩夹砂岩,厚 221 m。

该组在场区仅见于浑水塘中部及南部,占片区面积的 60%左右。在区内宰格组构成一宽缓的次级小向斜,北西翼岩层产状为 $126^{\circ}\sim 145^{\circ}\angle 28^{\circ}\sim 30^{\circ}$,南东翼岩层产状为 $305^{\circ}\angle 24^{\circ}$;岩性组合为灰、深灰、棕灰、紫灰色的泥质白云岩、砂质白云岩、粉—细晶白云岩及角砾状砾屑白云岩,中部夹黄绿色泥质页岩、灰色角砾状灰岩,顶部为蠕虫状灰岩,底部以黄灰色厚层角砾状灰质白云岩与海口组上段深灰色灰岩整合接触。其分布地带岩溶洼地、岩溶漏斗、溶沟、溶脊、石芽十分发育,是区内岩溶地貌发育的主要地层单位。

2.2.3 石炭系

场区内出露的石炭系仅见于驾校训练基地东北角,分布面积有限,按其岩性组合共划分为两个岩石地层单位,即下统大塘组和统威宁组。

1. 下石炭统大塘组 (C_1d)

该组地层为灰白—肉红色中—厚层状砂屑灰岩、生物碎屑灰岩夹鲕粒灰岩透镜体,底部有不连续的紫红、黄绿色薄层钙质泥岩、泥灰岩夹铝土质页岩、透镜状粉砂质铝土岩,厚 37 m。

2. 中石炭统威宁组 (C_2w)

该组地层为浅灰、灰白色的厚层—块状微晶灰岩、砂屑灰岩、生物碎屑灰岩,底部为粗晶灰岩,厚 93 m。其与下伏大塘组为整合接触,上未见顶。

按《云南省岩石地层》(张远志主编,1996)清理资料,将大塘组和威宁组定义为黄龙组 (C_2-P_1hn)。该组在昭通—富民—昆明—峨山—石屏连线以东云南范围内均有出露。区域岩性共同特征:一是色浅、质纯、层厚;二是不含镁质碳酸盐岩夹层。该组地层属开阔台地相及台内鲕滩相沉积,古生物以 *Pseudostaffella*-*Fusulinella*-*Fusulina* 和 *Triacites* 为代表,沉积厚度为 21.8~1 612.8 m,由北向南增厚。其接触关系各地有所变化:在昭通为梁山组平行不整合所覆;南至宣威、砚山一带,与上覆马平组,下伏大埔组或梓门桥组、万寿山组连续沉积;向西邻近古陆边缘的富民、昆明、玉溪一带,常整合覆于大埔组或万寿山组之上,为梁山组平行不整合覆盖。该组地层的形成时间,总的显示出南先于北的沉积规律,是一典型的穿时岩石地层单位,其地质时代为早石炭世晚期—晚石炭世晚期。

1:5 万大板桥镇幅(云南省地矿局,1986)将其分为大塘组和威宁组,认为岩性组合可

上下两分，与区域上黄龙组定义有别。经实地调查，本次工作仍沿用两分方案。

2.2.4 二叠系

场区内仅见二叠系下统，分布于驾校训练基地北东角，呈北北西—南南东向薄条带状展布。按其岩性组合可划分为三个岩石地层单位，即下二叠统倒石头组 and 阳新组，后者进一步分为下部的栖霞段和上部茅口段。

1. 下二叠统倒石头组 (P_1d)

该组地层岩性为褐黄色、黄灰色的页岩、铝土质泥岩，夹灰黑色砂质泥岩、黑色铁质泥岩、煤线及劣质煤，厚 6~15 m，与下伏威宁组为平行不整合接触，与上覆阳新组灰岩呈整合接触。

该组地层的区域定义与四川省内梁山组 (P_1l) 相当，后者岩性以黑色页岩、碳质页岩、灰白色黏土岩为主，夹粉砂岩及煤层，偶夹少量灰岩凸镜体，含植物及腕足类等化石，平行不整合覆于韩家店组或大路寨组黄绿色页岩及回星哨组暗红色粉砂岩、页岩之上，局部可平行不整合覆于黄龙组灰岩之上，与上覆栖霞组或阳新组灰岩多为整合接触。其岩性及厚度变化较大，具有西厚东薄的特点。本组底界为一区域性平行不整合面，在盆地其他地区多超覆于志留系不同层位之上；上覆层为厚层灰岩，顶界划分标志清楚。

本组含以植物、腕足类为主的生物群化石，主要有植物 *Pecopteris*、*Sphenophyllum*、*Lepidodendron* 等，腕足类 *Orthotichia*、*Spiriferella* 等；后者在区域上较罕见。

2. 下二叠统阳新组栖霞段 (P_{1y}^1)

该组地层为浅灰、灰—深灰色的厚层状泥—微晶灰岩、生物碎屑灰岩，局部见方解石细脉、网脉、团块及晶洞，厚 82 m。

该组地层区域定义与四川省栖霞组相当，以深灰—灰黑色薄—厚层状石灰岩为主，含泥质条带及薄层，具眼球状构造，含蜓类、珊瑚、腕足类及牙形石等化石，与下伏梁山组（场区内称为倒石头组）黑色含煤岩系及上覆茅口组（场区内称为阳新组茅口段）浅灰色块状灰岩均为整合接触。本段在盆地的中部及东部分布广泛而稳定，以深灰—黑色灰岩为主，多见块状构造及微晶、泥晶结构，时夹生物介屑或骨屑灰岩、硅质灰岩及硅质条带、结核，灰岩中普遍含较高的沥青质及硅质，局部见白云岩化及发育的眼球状构造，一般厚数十米至 300 余米。其与上覆茅口段互为消长，由西向东厚度有由薄增厚的趋势。所含化石主要有蜓类 *Schwagerina*、*Nankinella*、*Misellina*、*Pisolina* 等，珊瑚 *Hayasakaia*、*Wentzellophyllum*，以及腕足类等。

场区内该段见于横山的北西方向，是当地作为石灰石矿或水泥原料矿开采的主体矿层。岩层产状 $190^\circ\sim 200^\circ\angle 12^\circ\sim 16^\circ$ ；局部岩层倾角达 30° （在采石场断层北西盘可见），广泛发育溶沟、溶槽、石芽等岩溶地貌，厚约 136 m。

3. 下二叠统阳新组茅口段 (P_{1y}^2)

该组地层为浅灰、灰白色的厚层—块状白云质“豹斑”微晶灰岩、生物碎屑灰岩，夹灰色中—厚层状微晶灰岩；上部见似层状、透镜状浅紫灰色块状角砾状灰岩（同生砾岩），砾石成分以浅灰—灰白色粉—细晶白云岩、白云质灰岩为主，微晶灰岩次之，砾径 3~25 cm，以

3~10 cm 为主,呈次圆状,分选性差—中等,以钙泥质胶结为主,厚>230 m。

该组地层区域定义与四川省茅口组相当,以浅灰—灰白色厚层—块状石灰岩为主,夹白云岩及白云质灰岩,含硅质结核及条带,产蜓类、珊瑚及腕足类等化石,与下伏栖霞组深灰—灰黑色石灰岩及上覆吴家坪组底部页岩(王坡页岩)呈整合接触或与上覆双龙潭组含煤砂、泥岩呈整合或平行不整合接触。其岩性稳定,厚度变化大,从不足百米至 600 m 以上,且与栖霞组相互消长。该组地层以传统的“黑栖霞,白茅口”的方法划分,其他标志均不可靠。本组含多门类化石,主要有蜓类 *Neoschwagerina*、*Verbeekina*、*Chusenelda*、*Schwagerina*、*Pseudodoliolina*、*Afghanella*、*Neomisellina*、*Yabeina*, 珊瑚 *Ipciphyllum*、*Wentzelella*、*Tachylasma*、腕足类 *Cryptospirifer*、*Neoplicatifera*, 以及少量菊石、有孔虫、牙形石等。

场区内该组岩层产状 $190^{\circ}\sim 195^{\circ}\angle 10^{\circ}\sim 12^{\circ}$; 上部的灰白色厚层白云质灰岩,俗称“豹斑状灰岩”,表面风化特征明显显示出白云质与灰质的差异风化特征,前者如“豹斑”状凸起,并广泛发育溶沟、溶槽、溶脊、石芽等岩溶地貌。

2.3 地质构造

场区位于扬子陆块西南缘的康滇地块中南部的东缘断块,夹持于东侧全新世活动的小江断裂带和西侧中更新世活动的普渡河断裂带之间,东邻上扬子地块,西接康滇地块中部断块。区域构造断裂有小江断裂、白垩—横冲断裂等。

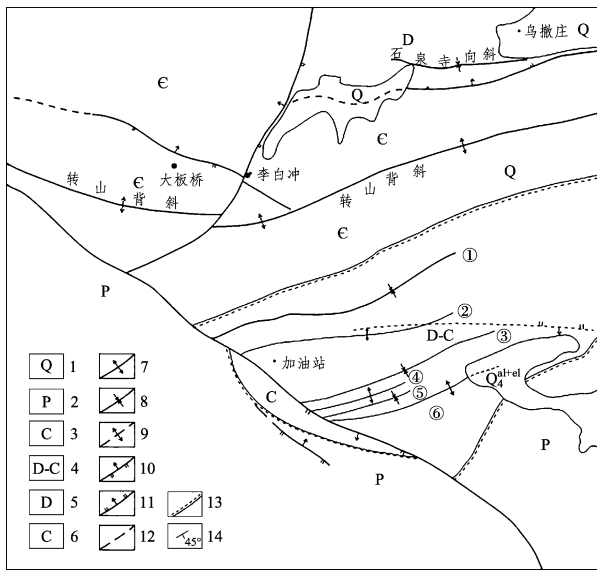
从场区及区域的构造格局、变形特征、演化历史及深部构造来看,地壳构造无论是晚近时期还是在地史时期,都具有以边界断裂活动为特征的断块构造性质。在区域上,各块体的盖层沉积建造的岩相、厚度发育程度和分布有显著的差异,这种差异明显地受断块间不同深度的断裂控制;构造变形亦如此,即断块边缘断裂带构成了变形强烈的活动带(强变形域),断块内部则为变形较弱的稳定区(弱变形域);现代构造运动及构造地貌特征也显示出断裂活动继承性和断块的运动学特征。

场区及区域构造是以断裂为边界的断块构造,断块之间的相互作用造成了结合带及其两侧地质体发生褶皱、断裂等变形,从而产生与之相关的构造特征及构造形态。由于场区处在断裂强变形带之间的弱变形断块域中,故总体构造简单。

按构造线方向,场区处于川滇经向构造体系与新华夏系构造体系结合部位,区内构造的形成与演化同时受两大构造体系制约和影响,即断块边界以 SN 向、内部以 NE—NEE 向构造为主构成场区的基本构造格架;除此之外,场区南东受断裂的影响亦产生局部 NW 向构造,对场区构造格架也有一定的影响。

2.3.1 褶皱构造

场区褶皱构造简单,主要集中在发育在羊桃箐—苏家坟断裂北东,包括由区域构造应力场作用形成的控制性褶皱和由断裂活动派生的断层褶皱;控制性褶皱轴线(转山背斜)总体呈 EW—NEE 向,东段为 NEE 向,西段为 EW 向,构成微向南突出的弧形构造;派生(断层)褶皱构造由一系列发育在 F_{10} 断层旁侧呈雁列状排列的褶皱群组成(图 2.3-1、图 2.3-2)。



1—第四系；2—二叠系；3—石炭系；4—泥盆-石炭系；5—泥盆系；6—寒武系；
7—背斜；8—向斜；9—推测背斜；10—逆断层；11—正断层；12—推测断层；
13—地层平行不整合界线；14—地层产状。

图 2.3-1 场区地质构造纲要图

批注 [姜1]: 15?

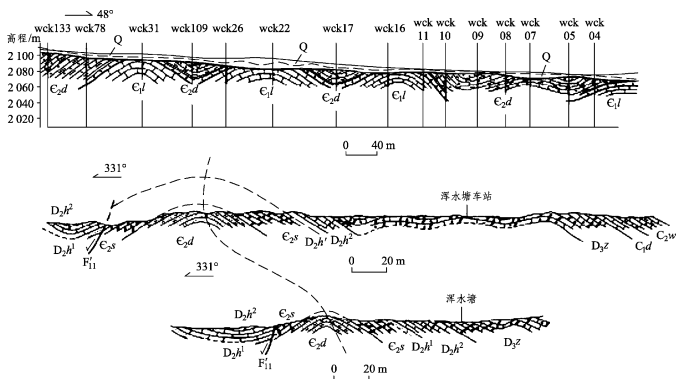


图 2.3-2 场区褶皱构造剖面图

1. 控制性褶皱构造——转山背斜

1) 转山背斜东段构造特征

转山背斜东段分布于场区中北部,东起于梨凹,经过马鞍山以北,沿徐家山一线展布,在李白冲南穿过西跑道,于李白冲西南侧终止于 F_{12} 断层处。背斜在场区范围内延伸长度为 3~4 km,出露宽度约 1 km。褶皱在穿过徐家山的路线上,以及在李白冲南西侧的一系列钻孔(wck4~wck26)资料中均能确定其存在。卷入背斜地层为中寒武统陡坡寺组(C_{2d})、中寒武统双龙潭组(C_{2s})、中泥盆统海口组(D_{2h})。由中寒武统陡坡寺组(C_{2d})组成背斜的核部地层,中泥盆统海口组构成背斜翼部。由于断层的破坏,背斜北翼地层出露不够完整,使其对称性不很显著,但自背斜核部向北翼,地层总体变新;背斜的南翼地层出露完整,依次出露中寒武统双龙潭组(C_{2s})、中泥盆统海口组(D_{2h})以及上泥盆统宰格组(D_{3z})、下石炭统大塘组(C_{1d})和中石炭统威宁组(C_{2w}),构成完整的向南依次地层变新的翼部。

背斜东段轴线呈 NEE 向展布,西跑道附近呈近 EW 向延伸。背斜东段北翼代表性产状为 $330^{\circ}\sim 347^{\circ}\angle 10^{\circ}\sim 42^{\circ}$,南翼代表性产状为 $125^{\circ}\sim 167^{\circ}\angle 25^{\circ}\sim 36^{\circ}$,轴面产状为 $332^{\circ}\angle 87^{\circ}$,枢纽产状为 $64^{\circ}\angle 4^{\circ}$,根据计算所得数据可以判断该褶皱为两翼产状基本对称的开阔直立水平褶皱,微向 NEE 方向倾伏,倾伏角较小。

转山背斜在李白冲以东的区域内发育规模较大,使得陡坡寺组地层在该区域急剧变宽。根据钻孔资料的大致分析,转山背斜在该区域内并非一个单一的背斜,而是由一系列较小相间排列的背向斜组成,但這些小型褶皱在总体上显示出复式背斜的特征。

2) 转山背斜西段构造特征

转山背斜西段分布于大山一带,褶皱延伸方向大致与大山山脊方向一致,褶皱东侧在李白冲以南约 250 m 处被 F_{12} 断层所截。该背斜在场区范围延伸长度约 1.5 km,出露宽度约 1 km。该褶皱在地表出露较差,通过钻孔资料(wck18~wck21)可以判断该褶皱的存在。

卷入背斜地层为下寒武统龙王庙组(C_{1l})、中寒武统陡坡寺组(C_{2d})、中寒武统双龙潭组(C_{2s})。由下寒武统龙王庙组(C_{1l})组成背斜的核部地层(主要由钻孔揭露,地表仅见于大山南东侧深切剖沟谷底),中寒武统双龙潭组构成背斜翼部。由于 F_{10} 断层的破坏,褶皱南翼仅出现中寒武统陡坡寺组(C_{2d});断层北翼出露中寒武统陡坡寺组(C_{2d})和中寒武统双龙潭组(C_{2s})地层,由于 F_{183} 断层的影响,中寒武统陡坡寺组(C_{2d})在北翼出露变宽。从总体地层分布情况来看,从背斜的核部向两翼,地层逐渐变新。

背斜轴线呈 EW 向展布。背斜北翼总体产状为 $355^{\circ}\sim 5^{\circ}\angle 10^{\circ}\sim 30^{\circ}$,南翼总体产状为 $170^{\circ}\sim 180^{\circ}\angle 20^{\circ}\sim 30^{\circ}$,轴面产状为 $358^{\circ}\angle 87^{\circ}$,枢纽产状为 $87^{\circ}\angle 1^{\circ}$ 。根据计算所得数据可以判断该褶皱为两翼产状基本对称的开阔直立水平褶皱,如图 2.3-3 所示。

该褶皱并非为两翼产状稳定的褶皱,而是在褶皱的两翼上均发育一些次级的小褶皱,但规模较小,影响范围仅限同一地层中。故该背斜总体上表现为轴线近东西向的复式背斜。

2. 断层褶皱构造

1) 石乾寺向斜构造特征

石乾寺向斜分布于场区中北部,西起于石乾寺以西约 500 m 处,经过石乾寺向东延伸,在乌撒庄附近被第四系覆盖而隐伏于其下未出露。向斜在场区范围延伸长度约 1.5 km,出露宽度约 0.5 km,总体呈一向南凸出的弧形,如图 2.3-4 所示。

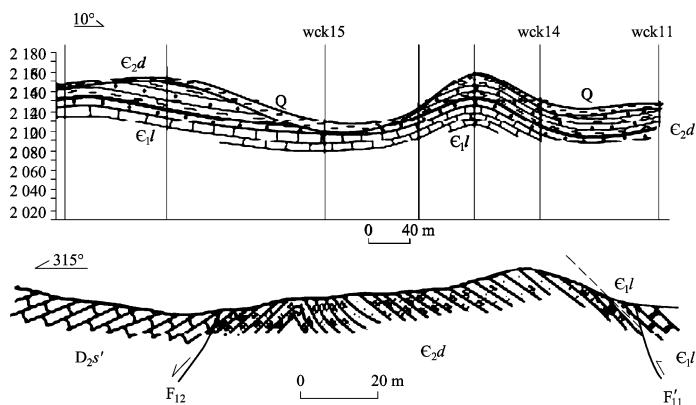


图 2.3-3 转山背斜西段构造特征图

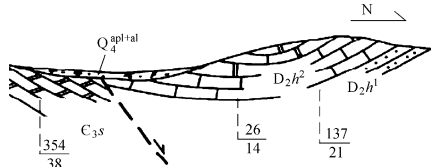


图 2.3-4 石乾寺向斜构造特征图

石乾寺向斜南与转山背斜东段相邻,但在褶皱规模、变形强度和褶皱幅度等方面均大大逊色于转山背斜,故该向斜应属转山背斜北翼上的次级构造。同时,断层 F_{181} 延伸方向与该向斜的延伸方向基本一致,故该向斜的形成受 F_{181} 断层的影响,有很大可能是 F_{181} 断层牵引而引起褶皱形成的。

卷入向斜地层为中泥盆统海口组 (D_2h) 碎屑岩和碳酸盐建造、中寒武统双龙潭组 (C_2s) 地层,前者组成向斜核部,后者构成向斜的两翼;南翼由于断层的破坏而地表出露不全。通过钻井揭露,在向斜南翼海口组上部碳酸盐建造之下存在海口组下部碎屑岩地层,表明向斜存在地层的对称性。

向斜轴线呈近 EW 向展布,向斜两翼产状较为平缓,向斜北翼代表性产状为 $175^\circ \sim 220^\circ \angle 10^\circ \sim 15^\circ$,南翼代表性产状为 $330^\circ \sim 0^\circ \angle 10^\circ \sim 30^\circ$,轴面产状为 $177^\circ \angle 84^\circ$,枢纽产状为 $267^\circ \angle 4^\circ$,为两翼产状基本对称的开阔直立水平褶皱。

2) 浑水塘褶皱群

该褶皱群分布于场区中部,主要在浑水塘油库、水电十四局和横山之间的区域内,褶皱的轴迹大致平行延伸,总体方向近东西向,局部有所变化。

浑水塘褶皱群北与转山背斜相邻,但在褶皱规模、变形强度和褶皱幅度等方面均大大逊色于转山背斜。褶皱群发育于 F_{10} 断层东(下)盘并与断层相邻,在地表与断层呈约 45° 夹角相交,但不跨越断层,并且在断层西(上)盘未见其踪迹;同时,该褶皱群具有邻近断层附

近褶皱密集紧闭、变形强，远离断层褶皱稀疏、变形弱的特点。显然，该褶皱群的形成与 F_{10} 断层存在一定的几何-力学关系，是由 F_{10} 断层右旋走滑活动而派生的次级构造。

①号向斜（浑水塘向斜）分布于浑水塘油库至水电十四局一带，东段呈 NEE 向延伸，西段大致呈 EW 向延伸。延伸长度约 1.5 km，出露宽度为 200~500 m。总体延伸方向有一向南凸出的趋势。卷入向斜地层为上泥盆统宰格组碳酸盐建造 (D_{3z})，组成向斜核部和翼部地层，表明向斜褶皱幅度低和变形强度弱。向斜东段轴线呈近 NEE 向展布，东段北翼代表性产状为 $145^{\circ}\sim 170^{\circ}\angle 20^{\circ}\sim 35^{\circ}$ ，南翼代表性产状为 $340^{\circ}\sim 25^{\circ}\angle 10^{\circ}\sim 30^{\circ}$ ，轴面产状为 $349^{\circ}\angle 85^{\circ}$ ，枢纽产状为 $78^{\circ}\angle 5^{\circ}$ ，为两翼产状基本对称的开阔直立水平褶皱。西段受断层影响，轴迹走向近 EW 向，北翼代表性产状为 $200^{\circ}\sim 210^{\circ}\angle 55^{\circ}\sim 60^{\circ}$ ，南翼代表性产状为 $325^{\circ}\sim 335^{\circ}\angle 60^{\circ}\sim 65^{\circ}$ ，轴面产状为 $177^{\circ}\angle 86^{\circ}$ ，枢纽产状为 $264^{\circ}\angle 39^{\circ}$ ，为直立倾伏褶皱。

②号背斜（浑水塘加油站背斜）分布于浑水塘加油站至铁路液化气公司一带，东段呈 SEE 向延伸，西段大致呈 EW 向延伸。延伸长度约 1.2 km，出露宽度约 200 m。总体延伸方向有向北凸出的趋势。卷入背斜地层为上泥盆统宰格组碳酸盐建造 (D_{3z})，组成向斜核部和翼部地层，表明背斜的褶皱幅度低、规模小和变形强度弱。该背斜北翼代表性产状为 $350^{\circ}\sim 5^{\circ}\angle 25^{\circ}\sim 35^{\circ}$ ，南翼代表性产状为 $190^{\circ}\sim 210^{\circ}\angle 30^{\circ}\sim 40^{\circ}$ ，轴面产状为 $10^{\circ}\angle 88^{\circ}$ ，枢纽产状为 $280^{\circ}\angle 7^{\circ}$ ，为直立水平褶皱。

③号向斜（铁路向斜）分布于浑水塘加油站至铁路液化气公司之间的铁路沿线一带，呈 EW 向延伸。延伸长度约 1 km，出露宽度约 100 m。卷入背斜地层为上泥盆统宰格组碳酸盐建造 (D_{3z})，组成向斜核部和翼部地层。该向斜北翼代表性产状为 $200^{\circ}\sim 210^{\circ}\angle 35^{\circ}\sim 55^{\circ}$ ，南翼代表性产状为 $5^{\circ}\sim 20^{\circ}\angle 30^{\circ}\sim 40^{\circ}$ ，轴面产状为 $20^{\circ}\angle 85^{\circ}$ ，枢纽产状为 $290^{\circ}\angle 5^{\circ}$ ，为直立水平褶皱。

④号背斜分布于铁路沿线以南，呈 EW 向延伸。延伸长度约 500 m，出露宽度较小。卷入背斜地层为上泥盆统宰格组碳酸盐建造 (D_{3z})，组成向斜核部和翼部地层。该向斜北翼代表性产状为 $5^{\circ}\sim 10^{\circ}\angle 30^{\circ}\sim 40^{\circ}$ ，南翼代表性产状为 $172^{\circ}\angle 19^{\circ}$ ，轴面产状为 $182^{\circ}\angle 82^{\circ}$ ，枢纽产状为 $93^{\circ}\angle 4^{\circ}$ ，为直立水平褶皱。

⑤号向斜分布于铁路沿线以南约 150 m 一带，呈 EW 向延伸。延伸长度约 400 m，出露宽度较小。卷入向斜地层为上泥盆统宰格组碳酸盐建造 (D_{3z})，组成向斜核部和翼部地层。该向斜北翼代表性产状为 $172^{\circ}\angle 19^{\circ}$ ，南翼代表性产状为 $347^{\circ}\angle 30^{\circ}$ ，轴面产状为 $169^{\circ}\angle 84^{\circ}$ ，枢纽产状为 $259^{\circ}\angle 1^{\circ}$ ，为直立水平褶皱。

⑥号背斜分布于横山以北 500 m 一带，呈 EW 向延伸。延伸长度约 800 m，出露宽度较小。卷入背斜地层为上泥盆统宰格组碳酸盐建造 (D_{3z})，组成向斜核部和翼部地层。该向斜北翼代表性产状为 $200^{\circ}\angle 20^{\circ}$ ，南翼代表性产状为 $335^{\circ}\angle 10^{\circ}$ ，轴面产状为 $5^{\circ}\angle 84^{\circ}$ ，枢纽产状为 $276^{\circ}\angle 5^{\circ}$ ，为直立水平褶皱。

①~⑥号褶皱总体上呈 EW 延伸，局部受 F_{10} 断层的影响有所变化。褶皱群中一系列褶皱规模较小，呈短轴状产出，影响地层均只有上泥盆统宰格组碳酸盐建造 (D_{3z})；向斜背斜相间排列，总体趋势上背斜较为宽缓，向斜较为紧闭，显示出隔槽式特征。从发育的构造部位来看，它们应该是由 F_{10} 断层活动形成的派生牵引构造，或者是由隐伏断层活动形成的断褶构造。

2.3.2 场区断裂构造

工程区断裂不太发育,除羊桃箐—苏家坟断裂(F_{10})具有一定规模,对构造变形具有局部分区意义外,其他断裂构造(如 F_{12} 、 F_{18} 和 F_{101} 、 F_{102})规模相对较小,仅属于小级别断裂,且变形微弱,变形方式以发育浅表层次的脆性断层为特征。因此,初勘阶段对羊桃箐—苏家坟断裂(F_{10})进行较为详细研究。场区构造断裂简表见表2.3-1。

表 2.3-1 场区断裂构造简表

断裂名称	断裂编号	断层规模		断层产状			两盘地层		性质	
		长度/km	宽度/m	走向	倾向	倾角	上盘	下盘	位移	力学
羊桃箐—苏家坟断裂	F_{10}	6	5~8	320°~340°	SW(E) NE(W)	50°~60°	P_{1y}	C_{2d} 、 C_{2s} 、 D_{2h} 、 D_{3z} 、 C_{1d} 、 C_{2w}	正-逆-平移	挤压-剪切
石灰窑断层	F_{101}	0.4	2~3	310°	58°	76°	P_{1y}	P_{1y}	逆	挤压
仰天窝断层	F_{102}	2	2~3	300°	210°	75°	C_{1d} 、 D_{3z}	C_{1d} 、 D_{3z}	逆	挤压
白汉场—西冲断裂	F_{12}	3	2~4	20°~40°	290°~310°	70°	C_{1l} 、 C_{2d} 、 C_{2s}	C_{2d} 、 C_{2s} 、 D_{2h}	逆	挤压
荷包塘—乌撒庄南断裂	F_{181}	3	3~4	近EW	N	70°	C_{2s}	D_{2h}	正	挤压-张
花箐—李白冲断裂	F_{183}	2	2~5	近EW	N	70°	C_{2d}	C_{1l}	逆	挤压

1. 羊桃箐—苏家坟断裂(F_{10})

该断裂整体由分布在白邑盆地东、西两侧的北西向断裂组成,总长约29 km,被白邑—横冲断裂带分割为东西两段,其中白邑盆地东侧断裂(即羊桃箐—苏家坟断层)起于白邑盆地南端,往南东方向经庄房、汗冲、下麻种、石将军以东、横山东麓,止于羊桃箐,横贯整个场区,通过东、西跑道南西端,长约20 km,在场区范围展布长约6 km,是场区内规模最大、对场区工程影响最大的断裂构造。它也是场区范围内南北两个不同方向构造格局分区的界线,断裂西南地区构造线呈NW向,而东北地区构造线则呈近EW向。

断裂的连续性较好,总体走向为320°~340°,呈舒缓波状延伸,断面在浑水塘油库以南倾向南西,而油库以北则倾向北东,倾角在50°以上,具有枢纽断层的断面特征。断层南西盘为上二叠统阳新组碳酸盐建造,下盘地层为寒武系—二叠系碎屑岩-碳酸盐建造。

根据断裂(F_{10})的产状、擦痕、阶步、牵引褶皱等运动学资料,该断裂至少有三期、多性质的运动学特征:①根据断裂倾向南西、上盘地层为上石炭统一中二叠统、岩层与断层走向近于一致、断层倾角大于岩层倾角和上盘地层较下盘地层新的地层结构及断层效应来看,该断裂总体显示出具有南西盘下降、北东盘上升的正断层性质;②根据岩层与断层走向大角度

斜交，断裂破坏了华力西期的近 EW 向褶皱构造，派生近东西向浑水塘褶皱群的特征来看，断层显示为右行（顺扭）平移运动性质；③ 根据断裂带中构造变形性质来看，断裂则显示为以挤压为主的逆断层。因此，该断裂是一条具有多期活动、多性质运动的复杂构造。

在场区，断层多处露出，其中在贵昆铁路复线开挖路基边坡可见较好的露头，清楚地显示了其变形特征（图 2.3-5），断层北（下）盘由上泥盆统宰格组（D_{3z}）浅褐红色厚层一块状角砾状白云质灰岩、角砾状灰质白云岩组成。在近断层 300 m 范围内岩层揉皱强烈，发育一系列中小型规模的牵引褶皱；岩层总体向南、南东陡倾，局部甚至倒转，代表性产状为 $160^{\circ} \sim 190^{\circ} \angle 30^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 。断层南（上）盘由中石炭统威宁组（C_{2w}）砖红色、褐红色、紫灰色厚层一块状砾屑灰岩、砂屑灰岩夹紫色、紫红色钙质粉砂岩、泥岩组成。岩层走向与断层走向基本一致，整体向南西缓倾，倾角随距离断层远近而变化，近断层附近，岩层倾角与断层面倾角基本一致，远离断层逐渐变缓，总体为断层倾角大于岩层倾角。断层变形较为强烈，构造带可宽达十几米至数十米，主要由断层影响带（破裂岩带、密集节理带）组成，上盘牵引构造发育，真正变形强带仅宽 5~8 m，并具有明显的构造分带性。

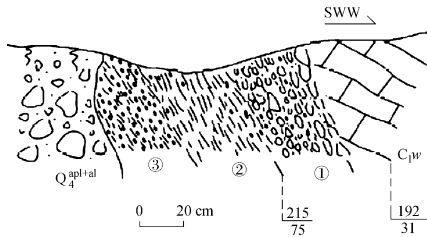


图 2.3-5 断层剖面图

劈理化细构造角砾岩带宽 10 cm，角砾含量 70%~80%，角砾被密集的劈理切割而成，并被劈理所包绕，形态为次圆一次棱角状和椭球状，角砾边缘有较为明显的搓磨现象，砾径为 0.3~0.5 cm，成分主要为灰岩。

2. 白汉场—西冲断裂（F₁₂）

该断裂北端始自白汉场一带，向南经西冲、小高坡、荷包地、李白冲，西南在石将军采石场终止于羊桃箐—苏家坟断裂，前人认为是由两条近于平行的北东—北北东向小规模断层组成。野外调查确认其西支（即大石桥南公路一线）断裂并不存在而予以否定；东支断裂存在且规模相对较大，场区内长度为 3 km，与西跑道近于平行延伸，与跑道的距离为 0.2~0.5 km。

断裂呈 NE—NNE 向展布，北段（白汉场—李白冲）呈北北东（N20°—40°E）向、南段（李白冲—采石场）呈北东向（N40°—60°E）延伸，西支呈稳定的北东向（N30°—35°E）。断裂面倾向北西，倾角在 70°以上。

尽管场区内未能清楚地观察到断层露头，但根据地层的展布及断层引起的地层效应分析，不难确定断层的存在和断层的性质：断层两盘地层均为古生界，西（上）盘主要由下寒武统龙王庙组（C_{1l}）和中寒武统陡坡寺组（C_{2d}）、双龙潭组（C_{2s}）组成，地层时代较老；东盘（下）

则由中寒武统陡坡寺组 (C_{2d})、双龙潭组 (C_{2s}) 和中泥盆统海口组 (D_2h) 等地层构成, 时代相对较新。断层西盘应为上升盘, 东盘为下降盘; 另根据断层斜切岩层引起的效应, 断层西(上)盘北倾, 面状地质界限有规律地向其倾向方向(北)产生视错动, 同样显示断层西(上)盘应为上升盘, 东(下)盘为下降盘, 故该断层位移类型为逆断层。

根据前人在场区北部对断裂的研究, 断裂构造岩不甚发育, 破碎带宽度一般不超过 10 m, 以碎裂岩为主, 局部片理化强烈, 两侧地层牵引褶曲发育, 软弱岩层膝折明显, 显示为脆性变形, 力学性质表现为压剪特征。

通过本次地质调查, 可以发现沿 F_{12} 断裂未见断层三角面等断错地貌或水系的同步扭动, 断裂经过之处的岩溶洼地、岩溶漏斗形态完整, 无位错痕迹。基岩上覆的晚更新世—全新世堆积物(主要为残坡积物)均未见后期构造变形痕迹; 地貌的总体形态反映出该断裂第四纪以来无明显的活动性。

3. 长坡—金竹沟断裂 (F_{18})

前人认为该断裂是由 3 条近东西向的断裂组成, 即展布于场区北部的 F_{181} 、分布于李白冲以东的 F_{182} 和李白冲以西的 F_{183} 。通过野外调查和钻孔验证, F_{182} 断层是与 F_{183} 为同一断层, 只不过被 F_{12} 错切而已; 而 F_{181} 和 F_{183} 应为两条几何特征和位移类型不同的断层, 将其作为同一断层(系)显然不太合适, 故本次工作将其分解为两条并重新命名, 即“荷包地—乌撒庄南断裂”(F_{181})和“花箐—李白冲断裂”(F_{183}); 同时认为, 前者(F_{181})的西段应从荷包塘南洼地中通过(已经钻探所证实)为正断层, 而后者(F_{183})为逆断层。断裂东始金竹沟, 向西分别经由长坡、葛藤沟、承龙水厂、石乾寺、乌撒庄、李白冲, 止于花箐以西的冲沟中, 全长约 8 km, 场区内长度约 5 km, 穿过西跑道北端。

4. 石灰窑断裂 (F_{101})

该断裂发育于东跑道南段的采石场, 是本次野外调查新发现的一条断裂。断裂近似平行于羊桃箐—苏家坟断裂, 呈 NW—NE 向展布, 倾向 NE, 倾角较陡(断层面产状 $58^\circ \angle 76^\circ$), 延伸长度不详。断裂两盘均为中二叠统栖霞组浅灰色灰岩, 上盘岩层产状为 $192^\circ \angle 32^\circ$, 下盘为 $211^\circ \angle 24^\circ$; 断层与地层倾向相反, 显示为逆断层性质。

5. 仰天窝断层 (F_{102})

这是一条根据物探异常经地表和钻孔验证而确定的断层。断裂异常带西起于浑水塘加油站北, 向东在浑水塘火车站穿过铁路沿冲洪积扇边缘展布, 控制长度约 2 km。

断层异常带绝大多数地段展布在上泥盆统宰格组地层中, 东段穿切于下石炭统大塘组地层中; 总体呈近东西走向, 在断层东段地表露头测得断层面产状为 $203^\circ \angle 75^\circ$ 。地表露头处上盘为下石炭统大塘组浅灰色灰岩, 岩层产状为 $212^\circ \angle 45^\circ$; 下盘为上泥盆统宰格组角砾状白云岩, 岩层产状为 $155^\circ \angle 21^\circ$; 显示为逆断层结构。

6. 乌龙潭断层 (F_{16})

这是一条根据地质结构和钻孔验证而确定的断层。断裂沿国道 302—长水村科技示范园支路一线呈 NNW 向展布, 推测长度约 3 km。

2.4 水文地质条件

2.4.1 气象和水文

昆明新机场属典型的亚热带高原季风气候类型,其特征是四季不甚明显,干雨季分明。据宝象河气象站(标高2040 m)资料,其多年平均降水量为836.57 mm;5月至10月为雨季,降水量占年降水量的78%;11月至来年4月为干季,降水量占全年降水量的22%。据呈贡气象站资料,其多年平均蒸发量为2086 mm,在时间分布上:3月至5月蒸发量最高,为258~276 mm;11月至12月蒸发量最低,为111~115 mm;其余各月居中,为137~183 mm。据呈贡气象站资料,其多年平均气温14.6℃,极端低温-8.1℃,极端高温30.4℃。

场区地处螳螂江流域与牛栏江流域分水岭地带,同属金沙江水系。南部有宝象河,其汇流面积246 km²,主流发源于老爷山西麓,经大板桥、官渡注入滇池。全长38 km,平均纵坡降6.1‰,河流上游是V形峡谷,中、下游是U形宽谷。宝象河明显受降雨控制而径流量变化很大,可以看出,其年总量波动于0.39亿~1.6亿立方米,多年平均为0.99亿立方米。其中:雨季流量0.73亿立方米,占年总量的73%;干季流量0.26亿立方米,占年总量的27%。

沿宝象河上游各支流建有三个小水库:宝象河水库,坝高35.2 m,蓄水量2091万立方米;铜牛寺水库,坝高12.9 m,蓄水量118万立方米;天生坝水库,蓄水量232万立方米,坝高32 m。它们均用于农田灌溉。

北部分布花庄河,源头为石乾寺沟,流经杨官庄水库、花庄水库、八村水库与兑龙河交汇后入嵩明境内,全长24 km,径流面积170.81 km²。工程区的石乾寺沟,经人工修筑为渠,断面尺寸为1.3 m×1.5 m,流量为2.0~50 L/s。其源头为老巴山,汇聚上游小白龙水库及沟谷来水,于荷包地西侧的岩溶脚洞流入山体,于乌撒庄石乾寺地段以泉水形式排泄,向北流向杨官庄水库。

机场场区在大区域上南属普渡河水系,北属牛栏江水系;小区域上以F₁₀断层附近的P_{1d}为界,南属宝象河水系(大板桥),北属花庄河水系(杨官庄)。

2.4.2 地下水类型

按其在岩(土)体中的赋存形式,地下水可分为孔隙水、裂隙水和岩溶水三大类型。裂隙水根据埋藏条件及含水层的分布特征可划分为层状裂隙水和风化裂隙水;根据赋存地下水空间、形态的差异,岩溶水可分为岩溶裂隙溶洞水和岩溶裂隙水。场区地下水类型划分结果见表2.4-1。

场区主要出露三大岩类,即第四系松散堆积物、碎屑岩类及碳酸盐岩。根据其孔隙与溶蚀特征,可将它们划分为孔隙水中等富水层(包括部分碎屑岩风化裂隙中等富水层)、岩溶富含水层、碎屑岩裂隙弱富水或相对隔水层,具体叙述如下:

① 第四系冲洪积物(Q_{4^{pl+dl}})与残坡积物(Q_{4^{el+dl}})构成的孔隙含水层:层厚0~25 m不等,孔隙度较高,渗水、含水性均较好;主要分布于李白冲、浑水塘等山间盆地中,以含细砾砂土、细砾黏性土、碎石黏性土、细砾红色黏土、细碎屑为主,细碎屑岩分布区为浅黄色、褐黄色含角砾黏性土。

表 2.4-1 地下水类型划分一览表

岩石(土)类型		地下水类型	含水层(组)	
第四系松散土体		孔隙水	Q_4^{pl+al} 、 Q_4^{cl+dl} 、 Q_4^{cl} 、 Q_3^{pl+al} 、 Q_1^1	
沉积岩	碳酸盐岩	岩溶水	裂隙溶洞水	E_2l^1 、 $P_{1Y}^{2+P_{1Y}^1}$ 、 C_2w 、 C_1d^2 、 D_3z 、 C_{1t} 、 $C_{1Y}^{5-Z_{3Y}^{2+3}}$
			岩溶裂隙水	D_2h^2 、 C_{2s}
	碎屑岩	裂隙水	层状裂隙水	D_2h^1 、 O_{1t} 、 C_2d^2 、 C_1c^1
			风化裂隙水	E_2l^2 、 P_1d 、 C_1d^1 、 C_2d^1 、 C_2c^2 、 C_1q^2 、 C_1q^1

② 碳酸盐岩富含水层。场区大多出露灰岩与白云岩,从新到老有:茅口段灰岩(P_{1Y}^2)和栖霞段灰岩(P_{1Y}^1),总厚度230~300 m;威宁组(C_2w),浅灰、灰白色厚层—块状微晶灰岩、砂屑灰岩、生物碎屑灰岩,厚度为93 m;大塘组(C_1d),灰白—肉红色中—厚层状砂屑灰岩、生物碎屑灰岩夹鲕粒灰岩透镜体,底部有不连续的紫红、黄绿色薄层钙质泥岩、泥灰岩夹铝土质页岩、粉砂质铝土岩透镜状夹层,厚度为37 m;宰格组(D_3z),岩性组合为顶部灰、棕灰、肉红色的砂屑白云岩、砾屑白云质灰岩、泥质白云岩、粉—细晶白云岩及角砾状砾屑白云岩,中部浅灰、砖红、褐黄、紫灰色的中厚—厚层细晶、粉细晶白云岩夹泥质灰岩及黄灰色薄层白云质泥岩、砾屑白云质灰岩、角砾状灰岩,底部为黄灰、灰紫色厚层角砾状灰质白云岩,厚度>123 m;海口组(D_2h),顶部为中厚层浅灰、灰色中—微晶灰质白云岩夹薄层砂岩,中部为深灰色、灰黑色中—厚层状鲕粒灰岩、砂屑灰岩、生物碎屑灰岩、角砾状砾屑灰岩夹黄灰色薄层泥质细砂岩、砂质泥岩及黑色钙质泥岩,发育瘤状构造,厚约142 m;中寒武统双龙潭组(C_{2s}),浅灰、灰黄、灰紫色薄—中厚层粉—泥晶白云岩、泥质白云岩,厚200 m;下寒武统龙王庙组(C_{1t}),灰—深灰色中—厚层状灰岩、泥质灰岩,夹少量含生物化石的薄层砂、页岩,夹白云质灰岩及白云岩,还夹少量含生物化石的页岩,以灰岩出现为本组的底界,厚106.6 m。

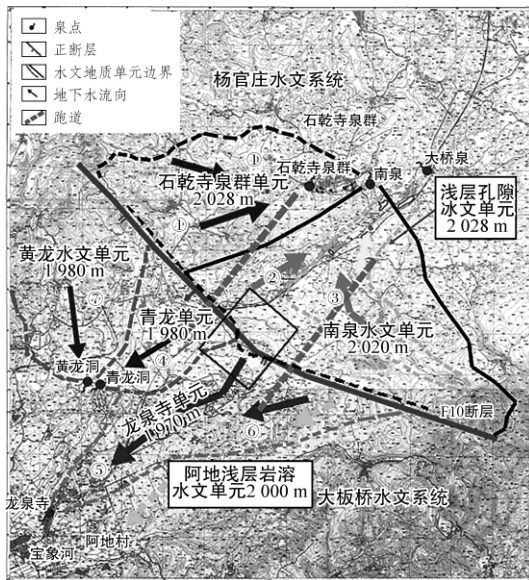
在以上碳酸盐岩中,岩溶洼地、槽谷发育,局部存在暗河管道系统,地下水富水性强,其径流模数可高达 $10 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{km}^2)$ 。

③ 碎屑岩弱含水或相对隔水层:主要以黄灰色薄层泥质细砂岩、砂质泥岩及黑色钙质泥岩为主。场区内较典型的隔水层主要有:下二叠统倒石头组(P_1d),褐黄色、黄灰色页岩、铝土质泥岩,夹灰黑色砂质泥岩、黑色铁质泥岩、煤线及劣质煤,厚度为6~15 m;海口组(D_2h),底部为灰白、黄色中层状中—细粒石英砂岩、岩屑石英砂岩夹薄层状页岩,厚3~5 m,在场区内分布不连续;中寒武统陡坡寺组(C_2d),上部为灰、黄、黄绿色薄层细砂岩、粉砂质泥岩、页岩、瘤状灰岩互层,下部为灰、黄灰色、绿灰色粉砂质泥岩、钙质粉砂岩及页岩夹灰色薄层泥质灰岩及灰岩,或猪肝色、粉红色薄层粉—细粒石英砂岩与砂质泥岩互层,底部为黄、褐黄色粉砂质页岩与薄层粉砂岩互层,厚度>80 m,为研究区最厚隔水层。相对隔水层总厚度不大,占场区总面积10%~20%。

岩溶地下水是场区最主要的地下水类型,对昆明新机场工程有着重要影响。

2.4.3 水文地质单元划分

根据水文地质特征，场区大致以 F_{10} 断层为界， F_{10} 断层北部可划分为 3 个相对独立的水文地质单元， F_{10} 断层南部可划为 4 个相对独立的水文地质单元（图 2.4-1），各水文地质单元地下水补给、径流、排泄条件如表 2.4-2。



- ①—乌撒庄石乾寺泉群岩溶集中型潜水单元；②—乌撒庄南泉岩溶地下水集中型潜水单元；③—浑水塘—公路管理站水塘浅层地下水单元；④—“青龙洞”岩溶管道集中型地下水单元；⑤—龙泉寺管道式水文地质单元；⑥—训练场落水洞—阿地村浅层岩溶季节分散型潜水单元；⑦—黄龙洞水文地质单元。

图 2.4-1 机场区水文地质单元划分示意图

表 2.4-2 各水文地质单元的水文地质特征

序号	水文地质单元	地下水补给、径流、排泄条件		
		补给	径流	排泄
①	乌撒庄石乾寺泉群岩溶集中型潜水单元	补给来自李白冲汇水沟与小高坡溶蚀洼地，属隐伏岩溶区，以大气降水为主，地下水水位埋深在 0.8~27.2 m 不等	大气降水沿垂向溶隙下渗，然后向石乾沟盲谷径流，运移至石乾沟进入隐伏岩溶区，地表沟水通过落水洞转入地下补给地下水，通过岩溶管隙系统向乌撒庄岩溶槽谷运移	本单元地下水在石泉寺溶槽处以泉群形式排泄，泉流量 0.88~12.8 L/s；潜水基准海拔 2 028 m

续表

序号	水文地质单元	地下水补给、径流、排泄条件		
		补给	径流	排泄
②	乌撒庄南泉岩溶地下水集中型泄水单元	补给来自浑水塘大型溶蚀洼地与溶蚀槽谷,降雨直接补给地表各大大小小漏斗与洼地,属隐伏岩溶区	大气降水以分散的流动方式补给地下,然后向大型溶蚀洼区的最低位置 Kh323 汇流,通过较深层的管道系统进入浑水塘溶槽的较深层地下水活动区	本单元汇水面积较大,地下水流入浑水塘大型溶蚀槽谷后,在乌撒庄乌龙潭(南泉)以泉点形式排泄,此泉点除抽水供水外,枯季流量高达 7~10 L/s;泄水基准海拔 2 020 m
③	浑水塘—公路管理站水塘浅层地下水单元	补给源自北东大型冲洪积扇孔隙潜水,汇水面积大、埋深浅,水量相对较小,以串珠状塘洼积水为特征,常年积水、大多常年不干;岩溶隐伏特征较为明显,表层的红色黏土覆盖层相对较厚,落水洞规模较大且更深,局部塌陷现象相对频繁	冲洪积浅层孔隙地下水通过地下溶隙、裂隙与管道进入浑水塘—公路管理站水塘的积水塘系统	本单元排泄以蒸发为主,少量直接渗漏补给岩溶地下水与下游塘洼;泄水基准海拔 2 054 m
④	“青龙洞”岩溶管道集中型地下水单元	属半裸露岩溶洼地地貌,地面可见大量洼地与漏斗,其中溶蚀碳酸盐岩大面积出露,低洼处被红色砂质黏土覆盖;大气降水以垂直分散渗流为主,直接对漏斗、洼地进行补给,补给条件好,入渗系数 0.84	地下水自北东向南西方向径流,水力坡度约 0.022;径流区枯季地下水位埋藏一般在 30~60 m	以垂直渗流为主,及深部水平性的管流形式交错存在,较为完整的地下水管道区主要集中在青龙洞一带,并以青龙洞暗河出口为集中排泄通道,出口长观流量为 20.9~3 761 L/s;泄水基准海拔 1 980 m
⑤	龙泉寺管道式水文地质单元	属半裸露岩溶洼地地貌,地面可见大量洼地与漏斗,大气降水以垂直分散渗流为主,直接对漏斗、洼地进行补给,补给条件较好	地下水由北东向南西方向径流,以垂直渗流为主,及深部水平性的管流形式交错存在;较为完整的地下水管道区主要集中在龙泉寺一带	泄水区位于龙泉寺,为一大型溶洞坑,枯水期估算流量达 10 L/s,该单元枯水期水位相差约 10 m;泄水基准海拔 1 970 m

续表

序号	水文地质单元	地下水补给、径流、排泄条件		
		补给	径流	排泄
⑥	训练场落水洞—阿地村浅层岩溶季节分散型泄水单元	属于半裸露岩溶洼地地貌,以降水的垂直分散渗流为主	地下水由北东向南西方向径流;地下水埋藏较深,一般在30~60 m	地下水经由训练场落水洞,于阿地村附近的深切槽谷排泄,主要排泄强降雨地表渗水;泄水基准海拔2 000 m
⑦	黄龙洞水文地质单元	单元内碳酸盐岩与碎屑岩相间呈片状、条带状分布,碳酸盐岩约占40%,以半裸露型为主。沿小康郎盲谷,岩溶漏斗较发育,其他地带岩溶垂向发育以溶隙为主,大气降水通过溶隙渗入或漏斗灌入补给地下水。另外,天生坝、二龙坝水库放水也可补给下游沿线岩溶地下水	地下水径流方向受碎屑岩隔水层和沟谷切割限制,主要由北东、南西向天生坝—小康郎谷地内径流运移。进入小康郎盲谷后,地下水由潜流转为承压水平径流	天生坝水库—二龙坝水库沟谷段为地下水的局部排泄带,主要以泉流形式汇入水库、沟谷。单元地表地下水于黄龙洞暗河出口集中排泄,长观流量26.8~3 852 L/s;泄水基准海拔1 980 m

1. 北部杨官庄水库泄水系统

该泄水系统包括3个相对独立的水文单元:

① 乌撒庄石乾寺泉群岩溶集中型泄水单元:泄水处基准海拔2 023~2 028 m,其补给来自李白冲汇水沟与小高坡溶蚀洼地,在石泉寺溶槽处以泉群形式排泄,有10余个泉与大片湿地。

② 乌撒庄南泉岩溶地下水集中型泄水单元:泄水处基准海拔高度为2 020 m,其补给来自浑水塘大型溶蚀洼地与溶蚀槽谷,汇水面积是机场区最大者,除抽水供水外,枯季流量达7~10 L/s。

③ 第四纪冲洪积扇地下水单元:包括张家坡洪积扇,李白冲—荷包地冲洪积平原,汇水面积大、埋深浅,水量相对较小,其补给源自大气降水;排泄以蒸发为主,少量直接渗漏补给岩溶地下水与下游塘注。

2. 南部大板桥地下水泄水系统

该泄水系统可以分为4个相对独立的地下水水文单元,分别是:

① “青龙洞”岩溶管道集中型地下水单元:泄水处基准海拔1 980 m,机场横山以南、公路以东大部分地下水汇入该系统。其最低排泄口则是青龙洞,该洞洞径高3 m、宽2 m,一般水深达1.5 m;上游300 m处有一与其直接连通的大型落水洞,上部洞径40 m,下部洞径3 m,

洞深 14 m, 见水深近 2 m, 丰水期可上涨 1~2 m。两洞均已被人工封砌, 作为供水溶洞。

② 龙泉寺管道式水文地质单元: 泉点基准海拔 1 970 m, 机场横山以南、公路以西大部分地下水汇入该系统。该泄水区为一大型溶洞坑, 枯水期估算流量达 10 L/s。该单元枯水期水位相差约 10 m。

③ 训练场落水洞—阿地村浅层岩溶季节分散型泄水单元, 基准海拔 2 000 m, 其丰水期的主要排泄处位于阿地村附近的一深切槽谷处, 主要排泄强降雨地表渗水。枯水期该系统在海拔 2 000 m 以上水流干枯, 深部地下水则归并入龙泉寺水文单元。本单元与龙泉寺单元在垂直向上的地下水位相差 30 m, 与青龙洞单元相差 20 m。

以上三文单元在枯水期相对独立, 丰水期将可能部分重叠。

④ 黄龙洞水文地质单元, 基准海拔 1 980 m, 它与机场区其他水文单元没有直接水力联系, 是一个与青龙洞相邻的独立水文地质单元。其上游为龙坝水库, 龙坝水库泄水后通过小泉坪封闭状溶槽与大麦地溶蚀洼地汇水, 渗入岩溶管道系统, 从黄龙洞排出。

2.4.4 地下水的垂直分带

根据岩溶水空间分布, 补、径、排特征等, 可将测区岩溶水系统分为浅层岩溶水系统和深循环岩溶水系统。

1. 浅层岩溶水系统基本特征

该岩溶水系统主要分布于测区地表(地下)分水岭附近的岩溶洼地及其周边, 呈片状或斑点状分布, 规模小, 彼此之间一般缺乏水力联系, 系由于岩溶漏斗发展至老年期后, 漏斗底部岩溶通道(主要是岩溶裂隙、管隙)被夹碎石的黏性土充填、堵塞后形成, 地下水位埋藏浅, 局部出露于地表, 形成长年积水或季节性积水的岩溶漏斗。测区规模较大的浅层岩溶水系统是水电十四局安装公司岩溶洼地浅层岩溶水系统和浑水塘—长坡岩溶漏斗浅层岩溶水系统, 其基本特征见表 2.4-3。

表 2.4-3 主要浅层岩溶水系统基本特征一览表

名称	分布位置	水文地质特征
水电十四局安装公司浅层岩溶水系统	水电十四局安装公司西侧	呈片状分布于 C ₂₋₁ 岩溶洼地内, 含水层为 D _{3z} 薄—中层状白云岩。系统表面漏斗、石牙密集发育。系统处于地下水垂直入渗带内, 垂向和水平发育的岩溶管道、隙大都黏土夹碎石充填、堵塞。系统周界与岩溶洼地周界基本一致, 系统底界为地下水垂直入渗带与强径流带界线, 埋深 35~45 m。系统内地下水位埋深一般小于 30 m, 地下水位标高 2 053~2 075.5 m, 由洼地周边向中心逐渐降低, 显示地下水由洼地周边向中心径流汇集。据钻孔水位, 表层岩溶水水位高出深层岩溶水位 10~15 m, 表明二者之间无水力联系
浑水塘—长坡浅层岩溶水系统	浑水塘—长坡	呈条带状分布于 C ₂₋₄ 及 C ₂₋₃ 岩溶洼地内, 含水层为 D _{3z} 薄—中层状白云岩。系统表面充水漏斗呈斑点状分布。系统处于地下水垂直入渗带内, 系统周界与岩溶洼地周界基本一致, 系统底界埋深约 50 m。系统内地下水位埋深 0~25 m, 水位标高 2 050~2 065.8 m, 地下水位起伏大, 缺乏统一的地下水位面, 具上层滞水的特征, 不同部位地下水水力联系弱

2. 深层岩溶水系统基本特征

与浅层岩溶水系统不同的是, 深层循环岩溶水系统具有明确的边界, 完整的补给、径流、排泄过程, 以及统一的水力联系。

根据测区岩溶含水层与相对隔水的碎屑岩、玄武岩及黏性土层的分布与组合关系、地下分水岭、阻水断层等, 将测区深循环岩溶水系统划分为浑水塘—杨官庄和大板桥—大石坝两个系统, 编号分别为 I、II, 再根据系统内水文地质条件的差异及与对拟建工程的相关性, I 系统再细分为 I₁、I₂ 两个水文地质单元, II 系统再分为 II₁、II₂、II₃ 及 II₄ 四个水文地质单元, 详见图 2.4-2 和表 2.4-4、表 2.4-5。

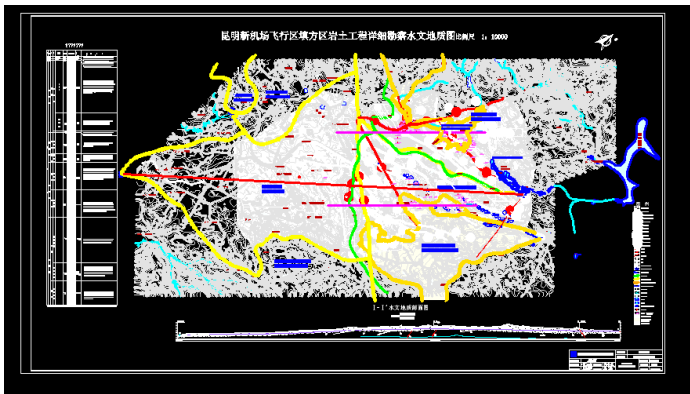


图 2.4-2 深部岩溶水系统水文地质分布图

表 2.4-4 深循环岩溶水系统划分一览表

系统编号	系统名称	水文地质单元编号	水文地质单元名称
I	浑水塘—杨官庄岩溶地下水系统	I ₁	石乾沟水文地质单元
		I ₂	浑水塘—大桥水文地质单元
II	大板桥—大石坝岩溶地下水系统	II ₁	黄龙洞水文地质单元
		II ₂	青龙洞水文地质单元
		II ₃	小龙潭水文地质单元
		II ₄	龙泉寺水文地质单元

I 系统呈片状分布, 面积为 72.22 km², 南部、西南部以 C_{1c}¹ 石英砂岩、C_{1c}² 页岩和 C_{2d}² 粉砂岩、泥岩等碎屑岩为隔水边界; 马鞍山—浑水塘站则以地下水分水岭为界; 东南部以连续分布的 P_{1d} 页岩、石英砂岩为隔水边界; 东部以地下分水岭为边界; 东北部以条带状分布

的 C_1d^1 泥岩、泥灰岩为隔水边界；北部、西北部以 C_1d^1 页岩、 C_2d^2 粉砂岩 O_1t 砂岩及地下分水岭为边界。

Ⅱ系统呈片状分布，面积为 160.25 km^2 ，北部、北东部以 C_1c^1 、 C_1c^2 、 C_2d^2 和 C_1d^1 碎屑岩隔水边界及地下分水岭与Ⅰ系统分开；西部以 C_1q^1 、 C_1q^2 、 C_1c^1 、 C_2d^1 、 C_2d^2 、 C_2h^1 页岩、粉砂岩和石英砂岩及地下分水岭为隔水边界；南部以地下分水岭为隔水边界；东南部、东部以 P_2e^1N 凝灰岩、 P_2e^2 玄武岩和砾岩、泥质粉砂岩为隔水边界。

工程区岩溶含水层从垂向上可分为3个带（图2.4-2），自上而下依次是垂直入渗带（一）、强水平径流带（二）和弱水平径流带（三），其中强水平径流带（二）与垂直入渗带（一）之间为地下水水位变幅带。

相应地，测区内岩溶发育垂向上也可分为3个带；垂向岩溶裂沟（裂缝或裂隙）及石牙等竖向岩溶分布带（甲带），水平岩溶管、洞、隙分布带（乙带）和相对均匀岩溶化分布带（丙带）。

深层循环岩溶系统水文地质与岩溶垂直分带特征见表2.4-5。

表 2.4-5 深循环岩溶系统水文地质与岩溶垂直分带特征

系统名称	系统编号	地貌部位	水文地质垂直分带特征	岩溶垂直分带特征
浑水塘—杨官庄岩溶地下水系统	I	溶丘	（一）带厚度因地形起伏而变化大，最大厚度约 75 m ，底界标高约 2062 m ；（二）带厚度 $10 \sim 20 \text{ m}$ ，底界标高为 $2040 \sim 2050 \text{ m}$ 。地下水位等势线标高为 2062 m ，平缓	甲带以岩溶裂沟为主，厚度 $10 \sim 45 \text{ m}$ ，底界标高约 2090 m ；乙带为充填废弃水平岩溶管、洞、隙带，厚度约 30 m ，底界标高约 2060 m 。地下水位等势线位于乙带底部
		侵蚀中山 (A_1)	由 C_2d 粉砂岩、泥岩组成，富水性较弱，为系统内部隔水边界	岩溶不发育
		岩溶盲谷 (C_1)	（一）带位于谷底覆盖土层上部，厚度一般为 $5 \sim 10 \text{ m}$ ，底部标高 $2058.6 \sim 2052.7 \text{ m}$ ；（二）带上部处于覆盖土层内，下部处于碳酸岩内，厚度约 30 m ，底界标高 $2009 \sim 2022 \text{ m}$ 。地下水位等势线标高 $2058.6 \sim 2052.7 \text{ m}$ ，较平缓	甲带缺失；乙带厚度约 40 m ，底界基本与（二）带底界一致，标高 $2009 \sim 2022 \text{ m}$ 。地下水位等势线处于覆盖土层内，岩溶水具弱承压性
		溶丘	（一）带厚度因地形起伏而变化大，最大厚度为 50 m 。表层岩溶水通过脚洞入口与地表水一同汇入地下，其水位等势线大部分地段处于（一）带内。（二）带厚度约 30 m ，底界标高为 $1995 \sim 2007 \text{ m}$ ，深层岩溶水水位等势线平缓，标高为 $2032 \sim 2034.7 \text{ m}$ 。	甲带以岩溶裂沟为主，厚度变化大，为 $0 \sim 30 \text{ m}$ ，底界标高为 $2045 \sim 2056 \text{ m}$ 。乙带厚度约 45 m ，上部表层岩溶水水位等势线以上为废弃水平管、洞、隙带；以下为水平岩溶管、洞、隙带，底界标高与（二）带底界标高基本一致。表层、深层岩溶水水位等势线均处于乙带内

续表

系统名称	系统编号	地貌部位	水文地质垂直分带特征	岩溶垂直分带特征
浑水塘—杨官庄岩溶地下水系统	I	岩溶槽谷 (C ₃)	(一)带缺失,地下水水位等势线基本与槽谷底部标高一致;(二)带厚度约35 m,底界标高为1 995~2 005 m,以下为(三)带	甲带缺失,乙带为水平岩溶管、洞、隙带,底界标高不1 985~1 995 m。地下水水位等势线处于乙带顶部
大板桥—大石坝岩溶地下水系统	II	岩溶洼地 (C ₂)	(一)带厚度约35 m,底界标高2 045 m;(二)带厚度约15 m,底界标高为2 030 m,以下为(三)带。地下水位等势线标高2 045~2 062 m	甲带缺失,地表之下15~25 m为废弃充填的水平岩溶管、洞、隙分布带,底界标高约2 062 m,除岩溶洼地北部边缘外,均位于地下水位等势线之上。2 062 m标高之下为丙带。表层岩溶发育停滞,转面向深部发展,且发育均匀
大板桥—大石坝岩溶地下水系统	II	溶丘 (C ₄)	(一)带厚度因地形起伏而变化大,最大厚度约60 m,底界标高为2 030~2 045 m。F ₁₂ 断层北侧溶丘(二)带厚度较均匀,约15 m,底界标高为2 050 m;南侧溶丘(二)带厚度变化大,底界标高为1 965~2 060 m。地下水位等势线标高为2 030~2 060 m,北侧平缓,南侧陡倾	北部溶丘发育垂向岩溶裂隙带,最大厚度约15 m,底界标高约2 090 m。2 070~2 090 m标高为废弃水平岩溶管、洞、隙分布带。地下水位等势线位于相对均匀岩溶化分布带内。南部溶丘发育垂向岩溶裂隙带,平均厚度约90 m,底界标高约1 990 m。1 960~1 990 m高程段为水平岩溶管、洞、隙带。地下水位等势线位于垂向岩溶裂隙带内
		岩溶台地 (B ₁)	F ₁₂ 断层北侧(一)带厚度约55 m,以岩溶裂沟、裂隙为主,底界标高为1 965~2 030 m。(二)带厚度为35~65 m,底界标高为1 920~1 965 m。断层南侧(一)带厚度约35 m,以岩溶裂隙、裂隙为主,底界标高为1 963.6 m;(二)带厚度为50~60 m,底界标高约1 900 m。地下水位等势线标高为1 962~2 030 m,北侧陡倾,南侧平缓	断层北侧甲带以岩溶裂沟、裂隙为主,厚度为25~80 m,底界标高为1 986~1 995 m;乙带厚度约35 m,底界标高约1 955 m。地下水位等势线在甲、乙带界线附近波动。断层南侧甲带以岩溶裂隙、裂隙为主,厚度约50 m,底界标高为1 938~1 943 m;乙带厚度约45 m,底界标高1 909 m。地下水位等势线平缓,位于甲带内
		岩溶干谷 (B ₂)	(一)带以岩溶裂隙为主,底界标高为1 945~1 962 m;(二)带厚度为45~60 m,底界标高为1 900 m。地下水位等势线标高为1 945~1 962 m,较平缓	甲带以岩溶裂隙为主,底界标高为1 925~1 970.5 m;乙带厚度为20~30 m,底界标高约1 905 m。地下水位等势线位于甲带内

场区地下水总体上埋藏深度较大,在地势较低的位置如南部准平原和北部浑水塘槽谷区,埋深在 35~50 m,相应标高大致在 2 030~2 045 m。 F_{10} 断层上盘局部分布倒石头组碎屑岩隔水层,但不连续, F_{10} 断层胶结良好,但岩溶十分发育,不具隔水性。根据超深钻孔测得的地下水位,水位最高点大致在 F_{10} 断层附近,标高在 2 045 m 左右,因此可以判断地下水分水岭在 F_{10} 附近。与此同时,两大水文地质单元界线是相对的,会随着补给、排泄条件其位置有一定变化。

