

2 青藏高原高寒地区边坡特征

青藏高原被称为“世界屋脊”，平均海拔 4 000 m 以上，日照时间长，年温差和日温差大，是东半球的气候调节器。同时，它有着很多终年不化的雪山，被称为“世界水塔”。青藏高原是 65Ma 年前，印度板块与欧亚板块相碰撞，古特提斯洋封闭隆起形成的，快速上升主要在 2~3Ma 年前至今的时间内。在形成过程中，又受到太平洋板块的影响，因此，地质独特而复杂。

同时，青藏高原空气稀薄，干湿交替快，紫外线和阳光辐射强，年温差和日温差极大，高寒缺氧，生态环境脆弱，施工环境恶劣，地质条件复杂，在工程建设上，属于典型的复杂高寒严酷地区。

2.1 西藏的地理位置

西藏自治区位于青藏高原的西南部，是青藏高原的主体部分，地域辽阔，东西最长处相距 2 000 km，南北最宽处相距 1 000 km。西藏北与新疆维吾尔自治区、青海省毗邻，东隔金沙江和四川省相望，东南部在横断山区和云南省相连，西部和南部与印度、尼泊尔、不丹、缅甸等国接壤，边境线长约 4 000 km，是中国西南边陲的重要门户。西藏自治区面积约 120 多万平方千米，占全国国土总面积的 1/8，仅次于新疆维吾尔自治区，居全国第二位。全区一共有 7 个地级市（区），分别为拉萨市、日喀则、那曲、阿里、山南、林芝、昌都等。其中拉萨是自治区的首府，是全区经济、政治、文化、宗教和交通的中心。

西藏自治区被誉为“世界水塔”和东半球的“气候调节器”，我国和东南亚的众多河流多发源于青藏高原。西藏自治区的资源十分丰富，区内的原始森林、大型牧草、多种矿产、野生动物、地热、农耕土地、旅游资源等很丰富且十分独特。例如：林芝地区等东部的原始森林，是我国的重要天然林之一；羌塘草原牧草茂密，牛羊成群；羊八井地热资源丰富，被誉为“地热博物馆”；雅鲁藏布江、澜沧江等水力资源十分丰富。此外，雅鲁藏布江及其支流两岸土质肥沃、雨水较为充沛，是区内的粮食产地。西藏独特的宗教哲学、民间艺术等传统文化底蕴深刻，自然景观有雄伟的喜马拉雅山、数不胜数的神湖、终年不化的雪山、一望无际的大草原、稀有珍贵的野生动物、淳朴的藏族民风民俗等无一不吸引着众多中外游客。

2.2 交通状况

西藏自治区地处中国交通相对落后的西部地区，由于高海拔和严酷的自然环境，截至 20 个世纪末自治区交通发展一直很慢。进入 21 世纪以来，随着西部大开发的进行，交通有了长足的发展和进步。目前，全区以拉萨为中心，构筑立体的交通网络，其中公路以青藏公路、川藏公路、新藏公路、滇藏公路和中尼公路为骨干网络，已经建成了高原高速公路（拉萨到贡嘎机场）、一级、二级等等级公路，林芝—墨脱县公路于 2012 年 6 月通车，实现了县县通公路。青藏铁路二期工程格尔木至拉萨全长 1 120 km，于 2007 年 7 月正式通车，结束了西藏无铁路的历史。目前拉萨至日喀则的铁路正在建设之中，拟于 2013 年 6 月通车。西藏自治区已建成了贡嘎机场、日喀则机场、林芝机场、昌都机场、阿里机场等。可见西藏自治区已经在西部大开发中构筑了自己的立体交通网络。截至 2011 年，公路有区道 15 条、20 条县道、157 条乡村道路、152 条专用公路，基本实现

了地级市有油路，73个县超过40个实现有油路，乡镇和行政村的通车率分别在95%和80%以上，航班开通了北京、成都、上海、重庆、西安、西宁、兰州、广州、深圳、昆明、香港等地，国际航班有尼泊尔加德满都航线。总之，西藏的交通在快速发展。

2.3 环境特征

西藏地区的高原环境特征主要有：

(1) 日照时间长。年日照时间为 2 500 ~ 3 300 h，太阳辐射强，如拉萨太阳年辐射量约为 7 900 MJ·m²，阿里地区的狮泉河约为 8 300 MJ·m²，日喀则地区的绒布寺则高达 8 700 MJ·m²，辐射量基本是内地城市的 1.5 ~ 2.5 倍。

(2) 干湿交替快，相对湿度很低，空气干燥。气压低，一般为 0.5 ~ 0.7 个标准大气压，氧分压也随之较低，一般只有内地的 0.5 ~ 0.7 倍，特别在冬季氧分压会更低，往往缺氧严重。

(3) 温差大。西藏地区的日温差和年温差均较大，根据相关统计，正负气温交替多，平均一年约有 180 个冻融循环。以我部施工的唐古拉山南麓的青藏铁路 19 标段为例，年最高气温 28 °C，年极端低温 - 45 °C，平均年冻融循环超过 180 个。

(4) 植被少，风沙大，大风日多。例如，拉萨市多年平均大风日为 26.3 d (8 级以上或者风速 17 m/s 以上为大风)。由于很多地方植被稀少，一般每天都有 5 级以上的风，且带着沙尘，尤其在下午和晚上大风多。

(5) 紫外线强，日平均总量在 80 ~ 150 J/cm²，是内地的 1.5 ~ 2.5 倍。

(6) 冰雪天气多。有些地方全年均可能下冰雪，以唐古拉山南麓的扎加藏布河谷(海拔 4 800 ~

4 950 m) 为例, 2003 年冰雪天为 44 d, 2004 年 7 月 13 日上午下了雪, 2005 年 8 月 22 日也下了大雪。

(7) 西藏有些河流和部分的地下水存在腐蚀性物质, 如 SO_4^{2-} 离子和 Cl^- 离子等。

(8) 极端天气特别多, 大风、暴雪、暴雨、冰雹等多发、频发。

总之, 特殊的地理位置和特殊的气候特征, 造成了西藏的多数地区高寒缺氧、生态脆弱、环境恶劣。

2.4 地貌气候特征

西藏地区的地形地貌多种多样, 山脉东西横亘、河流众多、湖泊星罗棋布, 高山峡谷, 气势磅礴, 高原、平原等, 景象万千。尤其是被誉为神山和圣湖的地方不胜枚举, 更增添了不少神秘色彩。西藏美景令游客流连忘返, 吸引着许多学者去探秘, 揭示那神秘的面纱。

西藏地貌大致可分为喜马拉雅高山区、藏南山原湖盆谷地区(主要为印度洋水系分布区), 藏北高原湖盆区(主要为内陆水系分布区)和藏东高山峡谷区(主要为太平洋水系分布区)4个自然地理景观区。

其中, 藏布高原湖盆区主要为冈底斯山—念青唐古拉山以北的南北羌塘高原湖盆地和昆仑山等地区, 平均海拔在 4 500 m 以上, 特别是唐古拉山的平均海拔为 5 000 m, 被誉为“世界屋脊的屋脊”。该区面积约 $8 \times 10^5 \text{ km}^2$, 占全区面积的 2/3。该区域是我国最大的高原多年冻土分布区域, 植被稀少, 区内以冻融剥蚀、风蚀、盐渍地貌为主要特征, 湖泊星罗棋布, 丘陵和山地舒缓, 高差 100~500 m, 气候干燥、阳光充足、太阳辐射极强, 无外来水系, 主要是内陆水系, 是盐湖的

形成和保留的有利场所，是我国盐类湖泊最为集中的地区之一。藏东高山峡谷区即著名的横断山脉，位于那曲以东，山脉逐渐由东西走向转变为南北走向。区内高山峡谷，主要的河流有怒江、澜沧江和金沙江，地势由中国的第一阶梯过渡到第二阶梯，地貌复杂，北高南低。北部平均海拔为 5 200 m，山顶平缓；南部海拔在 4 000 m 以下，山势陡峻，山区受到海洋性湿润气流的影响，气候差异明显，山麓和山腰有森林和田园风光，山顶则是白雪皑皑。

喜马拉雅山区主要是喜马拉雅山及以南的地区，山脉东西向展布，高山多，主脊在 6 500 ~ 7 000 m，海拔 8 843.13 m 的世界第一高峰——珠穆朗玛峰就高耸在中尼边境上。该区南边受到印度洋季风的影响，气候湿润，北部受到季风影响，空气干燥，南北差异较大。

藏南山原湖盆谷地区有许多宽窄不一的河谷盆地和盆湖谷地，主要是拉萨河、年楚河、尼洋河等的河谷平地。本区地势相对平坦，水系发达，沟渠纵横，土质肥沃，美丽富饶，为自治区主要的农业区。另外，主要的湖盆谷地有羊卓雍湖高原湖泊区、札达盆地等。

青藏高原复杂多样的地形地貌，形成了独特的高原气候。总的来讲，与中国大部分地区相比，西藏地区的空气稀薄，含氧量低；日照充足，辐射强烈；气温较低，降水较少。除呈现西北严寒干燥，东南温暖湿润的总趋向外，还有多种多样的区域气候和明显的垂直气候带。从东南到西北依次出现了热带、亚热带、温带、亚寒带、寒带以及湿润、半湿润、半干旱、干旱等气候类型。全区可以分成八个气候区，即喜马拉雅南麓热带湿润气候区、喜马拉雅山南麓亚热带湿润气候区、藏东南温带半湿润气候区、藏南温带半干旱高原季风气候区、阿里亚寒带干旱高原季风气候区、那曲寒冷半湿润高原季风气候区、藏北寒冷半干旱高原季风气候区和昆仑寒带干旱高原季风气候区。青藏高原每立方米空气中只含氧气 150 ~ 170 g，相当于平原地区的 62% ~ 65.4%，冬季更低。

水的沸点，大部分地区也降至 84 ~ 87 °C。西藏自治区是中国太阳辐射能最多的地方，比同纬度的平原地区多一倍或三分之一日照时数，也是全国日照时数的高值中心，如拉萨市的年平均日照时数达 3 005 h，比同纬度的东部地区日照总时数多 1 000 h 左右。

另外，西藏地区的气温年变化小、日变化大，区内各地降水的季节分配不均，旱季和雨季的分界非常明显，而且多夜雨。

藏东南为多雨带，年降水量在 1 600 mm 以上；东部和中部为半湿润带，年降水量为 400 ~ 800 mm；藏北内陆河区为干旱带，年降水量在 200 mm 以下，是全区最干旱的荒漠区。

西藏又是全国冰雹日数最多的地区，那曲平均年冰雹日 35.9 天，多为小冰雹。

高原上的巨大山岭普遍发育着终年不化的雪山和现代冰川，雪山及冰川的融水是长江、雅鲁藏布江、怒江、澜沧江、印度河等主要大河的源泉之一。同时，降水也是西藏河流径流的另一个主要来源。此外尚有地下水补给，其补给量占各河年径流量的比例有所不同。河流补给类型大体分布是：西部、北部河流以地下水补给为主；中部和东南部的河流以降水补给为主；帕隆藏布以及喜马拉雅山麓的一些河流以融水补给为主；东部的几大河流则为混合补给类型，中小河流多以降水补给为主。

藏东南汛期来的最早，持续时间也长，一般 5 月中、下旬开始，10 月中、下旬结束；雅鲁藏布江流域 6 月中旬开始，9 月底或 10 月初结束。汛期径流量占全年径流量的比例：金沙江、澜沧江为 66%；怒江、雅鲁藏布江占 70%~80%，是我国各大江河中的最高值；西部地区由于雨季推迟，最大月径流量多出现在 7~10 月份。

总之，区内的地形地理的主要特点是：高原辽阔，平原狭长，高山巍峨，峡谷深邃，雪山皑

皑，冰川广布，河流众多，湖泊密布。

2.5 资源

西藏独特的地质环境、自然地貌、多样化的气候，蕴藏了许多丰富的动植物、矿产、水力资源等。根据初步统计，全区林地面积 17 580 万亩，草地 70 531 万亩（1 万亩 \approx 6.67 km²），耕地 572 万亩，水域 3 611 万亩，沼泽湿地 2 067 万亩，冰川 3 918 万亩，戈壁 19 005 万亩。

主要的资源有：

（1）动植物。西藏是个植物王国，有很多珍贵的野生动植物资源，特别是东部的林芝和昌都等地区，保持着完整的原始森林，有高等植物约 6 400 多种；林芝地区和藏西吉隆、亚东等是我国少有的天然植物王国，其中裸子植物 7 种（全世界总共 12 种）；有林县 30 个，面积 717 万公顷（1 公顷 \approx 1 \times 10⁴ m²=0.01 km²），全国第四；森林木材蓄积量约 2.0 \times 10¹⁰ m³，居全国第一位。西藏有哺乳动物 142 种，鸟类 488 种，爬行动物 55 种，两栖类动物 45 种，鱼类 68 种，昆虫 2 305 种，其中藏羚羊、野驴、马鹿、野牦牛、雪豹、白唇鹿、盘羊等为世界珍稀动物，被列为世界珍品。

（2）矿产资源。已发现的矿产种类有 98 种，矿产产地 2 000 多处，探明了储量的有 46 个矿种，11 个矿种储量位于全国前 5 位，18 个矿种储量位于全国前 10 位。其中，铬铁矿全世界之首，山南的罗布森铬铁矿是世界最大的铬铁矿；锂矿居世界前列，也是我国锂矿资源的重要基地之一；刚玉和地热也位居全国之首，铜的远景储量、石膏储量位居全国第二，重晶石、菱镁矿、砷矿、硼矿等位居全国第三，白云母、泥炭的储量位居全国第四，陶瓷土的储量也位于全国第五，其他重要的矿产资源有：金、银、铅、锌、锡、芒硝、食盐、硅藻土、天然碱、水晶、玛瑙等。但是西藏矿物

燃料相对缺乏，目前，只在那曲的唐古拉山南麓土门找到了煤矿，藏北某地找到了油气田。

(3) 水力资源。全区境内河流自产水量和金沙江、澜沧江上游邻省入境水量共 $3.548 \times 10^{11} \text{m}^3$ 。其中地下水补给量约 $8.13 \times 10^{10} \text{m}^3$ ，占年径流量的 22.9%；冰雪融水补给量约 $3.09 \times 10^{10} \text{m}^3$ ，占 8.7%；年出境水量约 $3.29 \times 10^{11} \text{m}^3$ 。

西藏地区的外流水系主要包括雅鲁藏布江、金沙江、澜沧江、怒江、狮泉河、朋曲、察隅曲等，流域面积约 $5.888 \times 10^5 \text{km}^2$ ，约占西藏总面积的 49%。

西藏地区的内流水系主要由湖泊组成，青藏高原以湖泊众多闻名于世，全区大小湖泊共 1500 多个，湖泊部面积约 $2.4 \times 10^4 \text{km}^2$ ，占全国湖泊总面积的 30%以上，其中面积超过 100km^2 的湖泊有 47 个。

雅鲁藏布江是世界上海拔最高的大河之一，全长 2057 km，流径 21 个县和珞瑜地区，流域面积 $2.4048 \times 10^5 \text{km}^2$ ，发源于西藏西南部桑木张以西喜马拉雅山北麓的杰马央宗冰川。雅鲁藏布江水能蕴藏量仅次于长江，居全国第二位。

西藏地区湖泊河流众多，发电蕴藏量超过 $1 \times 10^4 \text{kW}$ 的一共有 361 条之多，这些河流多数流经高山峡谷，落差大，水力梯度大，河流下蚀作用强。

如图 2-1 所示，西藏地区的多数河流比降都比较大：雅鲁藏布江干流平均比降 2.64‰，雅鲁藏布江支流夏布曲平均比降 12.4‰，拉萨河平均比降 2.9‰，塘河平均比降 13.1‰，年楚河平均比降 6.1‰，沃卡河平均比降 34.5‰，尼洋曲平均比降 7.3‰，巴河平均比降 7.6‰，八及曲平均比降 64.4‰，帕隆藏布平均比降 12.6‰，易贡藏布平均比降 10.7‰，锡约尔河平均比降达到 238.4‰；怒江干流平均比降 2.7‰，怒江支流伟曲平均比降 7.1‰，当曲平均比降 43.9‰，然布曲平均比降 51.2‰；澜沧江干流平均比降 2.6‰，昂曲平均比降 4.4‰，玉曲平均比降 20.7‰，金河平均比降

5.7‰；察隅曲干流平均比降 16.1‰；丹龙曲干流平均比降 22.9‰；西巴霞曲干流平均比降 12.5‰，西巴霞曲支流坎拉河平均比降 28.2‰；鲍罗里河干流平均比降 19.0‰；朋曲干流平均比降 8.8‰。

在雅鲁藏布江、怒江、澜沧江、金沙江主要河道干流拟开发方案中，天然落差都得到了很好的利用，如雅鲁藏布江干流天然落差为 5 435 m，可利用落差 3 864 m；金沙江干流（川藏界河段）天然落差 990 m，可利用落差 990 m；怒江干流天然落差 3 697 m，可利用落差 2 443.5 m；澜沧江干流天然落差 1 255 m，可利用落差 1 139 m。

西藏地区可开发的水力资源约为 $5\,659 \times 10^4$ kW，约占全国的 15%。水资源储量 359×10^9 m³，约占全国的 13.5%。