

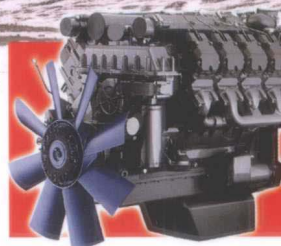


中国汽车工程学会

汽车工程图书出版专家委员会 推荐出版

Research on Plateau Environmental Adaptability of
Diesel Engines

柴油机



高原

性能研究

刘瑞林 编著

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

柴油机高原环境适应性研究

刘瑞林 编著

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

柴油机高原环境适应性研究/刘瑞林编著. —北京: 北京理工大学出版社, 2013. 2

ISBN 978 - 7 - 5640 - 7333 - 6

I. ①柴… II. ①刘… III. ①柴油机 - 高原 - 特殊环境 - 适应性 - 研究 IV. ①TK42

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 014322 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京天成印务有限责任公司

开 本 / 710 毫米 × 1000 毫米 1/16

印 张 / 14.75

字 数 / 243 千字

责任编辑 / 张慧峰

版 次 / 2013 年 2 月第 1 版 2013 年 2 月第 1 次印刷

责任校对 / 周瑞红

定 价 / 56.00 元

责任印制 / 王美丽

图书出现印装质量问题, 本社负责调换

前言

我国高原地区面积约占国土面积的37%，其中，青藏高原面积约为240万平方千米，是世界上海拔最高的高原。高原地区海拔高、大气压力和年平均气温低、风沙尘大、日照及紫外线辐射强、地理条件复杂，这些恶劣的自然环境条件对柴油机的各项性能产生了显著的影响。柴油机在高原地区运行时，其动力性、经济性、启动性、热平衡性、可靠性、耐久性、排放性能等指标都大幅度下降，难以保证在高原地区的使用要求，使得以柴油机为动力的机械装备不能处于良好的工作状态，导致机械装备的可靠性、运输或作业效率严重下降。目前，我国在机械装备环境适应性技术，尤其是柴油机高原环境适应性方面的研究还比较薄弱。由于柴油机的高原环境适应性差，造成了严重的经济损失和环境污染等问题。

随着我国高原地区经济与社会不断发展，以及国防建设工作的不断推进，对以柴油机为动力的各种车辆、工程机械等装备的需求数量激增。当务之急，亟需开展柴油机高原环境适应性研究，研究高原环境对柴油机燃烧过程和性能的影响规律和机理。提出提高柴油机高原适应能力的技术措施，对于提高柴油机及机械装备的高原环境适应性具有非常重要的意义。

在本书出版之前，国内外还没有专门针对该领域的著作。在过去的10多年里，本书作者一直从事车辆装备高原环境适应性的研究工作，在车辆及柴油机高原环境模拟、试验与评价、标定、规范与标准制定等方面都进行了大量的开发研究工作，取得了重要的进展和突破。本书较全面介绍了柴油机高原环境适应性研究领域最新的研究成果，其中包括了大量作者近年来的研究成果。

全书共5章，第1章介绍了高原地区的地理、气候和交通概况，以及环境适应性概念、环境因素和环境效应等，重点介绍了青藏高原气候和地理环境条件、公路交通情况及其对柴油机主要性能的影响；第2章介绍了柴油机高原性能研究与评价方法、相关标准；第3章介绍了高原气候条件对增压器性能、柴油机燃烧过程和性能、增压器

与柴油机匹配性能、柴油机与变矩器匹配性能的影响；第4章介绍了柴油机高原标定的有关概念、供油系统调整对柴油机性能的影响，以及电控柴油机的高海拔修正控制策略、优化目标和约束限制条件、高原标定方法；第5章概述了提高柴油机高原环境适应性的关键技术，分析了提高柴油机高原性能的主要技术措施。

本书由刘瑞林教授编著，负责统稿，董素荣、许翔、刘刚任副主编。本书第1章由许翔讲师撰写，第2章由刘刚讲师撰写，第3章由董素荣副教授撰写，第4章由周广猛博士撰写，第5章由刘瑞林教授、董素荣副教授、许翔讲师、刘刚讲师和周广猛博士撰写。在本书编写的过程中，关立哲副教授、刘伍权副教授、李程助教、何西常硕士、张众杰硕士、晋尚杰工程师、郑智助教、郝士祥助工、管金发博士、张云飞硕士、王威硕士、孙文龙硕士、朱磊硕士、迟森硕士等参与了部分章节的整理编写、资料整理等工作。

本书的出版，首先感谢军事交通学院领导和相关部门领导的关心与帮助，感谢军事交通学院科研部和研究生处、中国汽车工程学会汽车工程图书出版专家委员会、北京理工大学出版社的大力支持，特别感谢军事交通学院院长李士生、天津大学苏万华院士，在百忙之中阅读了本书的部分章节，对本书提出了许多建设性的意见。

由于编者水平有限，有些问题研究还不够深入，加上时间仓促，书中难免存在一些错误，恳请广大读者批评指正。

编 者

2012年10月18日于天津

目 录

第1章 概论 / 1

- 1.1 世界高原概况 / 1
- 1.2 我国高原环境条件 / 2
- 1.3 柴油机高原环境适应性 / 12

参考文献 / 20

第2章 柴油机高原性能研究与评价方法 / 21

- 2.1 柴油机高原性能研究方法 / 21
- 2.2 柴油机高原相关标准 / 45
- 2.3 柴油机高原环境适应性评价 / 58

参考文献 / 67

第3章 高原环境对柴油机性能的影响 / 70

- 3.1 高原环境对涡轮增压器性能的影响 / 70
- 3.2 高原环境对柴油机燃烧性能的影响分析 / 77
- 3.3 高原环境对柴油机性能的影响 / 97
- 3.4 高原环境对柴油机与增压器匹配性能的影响 / 127
- 3.5 高原环境对柴油机与变矩器匹配性能的影响 / 140
- 3.6 高原沙漠环境对柴油机性能的影响 / 142

参考文献 / 147

第4章 电控柴油机高海拔标定 / 150

- 4.1 基本概念 / 151
- 4.2 电控柴油机高海拔标定的基本内容 / 158
- 4.3 电控柴油机高海拔标定的主要方法 / 172
- 4.4 柴油机喷油系统高海拔匹配标定策略 / 178

参考文献 / 185

第5章 提高柴油机高原适应性的主要技术措施 / 188

- 5.1 概述 / 188
- 5.2 柴油机高原增压技术 / 189
- 5.3 柴油机高原燃烧优化技术 / 203
- 5.4 柴油机高原低温启动技术 / 208
- 5.5 柴油机高原热平衡控制技术 / 215
- 5.6 柴油机代用燃料和富氧燃烧技术 / 221

参考文献 / 225

本章主要介绍世界高原概况、我国高原环境条件和公路交通情况，以及环境适应性定义、环境因素和环境效应等，重点介绍了青藏高原气候和地理环境条件、公路交通情况及其对柴油机主要性能的影响。

1.1 世界高原概况

海拔高度一般在 1 000 m 以上，面积广大，地形开阔，周边以明显的陡坡为界，比较完整的大面积隆起地区称为高原。高原与平原的主要区别是海拔较高，它以完整的大面积隆起区别于山地。有的高原表面宽广平坦，地势起伏不大；有的高原则山峦起伏，地势变化很大。世界高原主要分布在亚欧大陆、南北美洲和澳大利亚。高原分布甚广，连同所包围的盆地一起，大约共占地球陆地面积的 45%。

世界最高的高原是中国的青藏高原，面积最大的高原为南极冰雪高原。高原的特征是地势相对高差低而海拔相当高。世界主要高原有：南极高原、巴西高原、伊朗高原、青藏高原、东非高原、埃塞俄比亚高原、蒙古高原、阿拉伯高原、德干高原、墨西哥高原、格陵兰冰雪高原、云贵高原、玻利维亚高原、巴塔哥尼亚高原等。表 1-1 所示为世界主要高原名称、海拔高度、面积及主要分布地区概况。

表 1-1 世界主要高原概况

名称	海拔高度/m	面积/万 km ²	主要分布地区
青藏高原	4 500	230	中国西藏、青海、新疆
帕米尔高原	4 000	16	中国、阿富汗、塔吉克斯坦
玻利维亚高原	3 800	35	玻利维亚
南极冰雪高原	2 500	1 200	南极洲
埃塞俄比亚高原	2 500	80	埃塞俄比亚
墨西哥高原	900~2 500	66.6	墨西哥
云贵高原	2 000	30	中国云南、贵州
亚美尼亚高原	2 000	40	亚美尼亚、土耳其、伊朗
黄土高原	800~2 000	50	中国陕西、甘肃、宁夏
格陵兰冰雪高原	1 900	187	格陵兰岛
科罗拉多高原	1 800	30	美国
蒙古高原	1 580	165	中国、蒙古
伊朗高原	900~1 500	270	伊朗、阿富汗、巴基斯坦
巴塔戈尼亚高原	300~1 500	66.6	阿根廷
巴西高原	300~1 500	500	巴西
安纳托利亚高原	1 300	35	土耳其
东非高原	1 200	100	坦桑尼亚、肯尼亚、埃塞俄比亚等国

1.2 我国高原环境条件

1.2.1 我国高原概况

我国海拔超过 1 000 m 的高原面积约有 358 万平方千米，约占我国国土面积的 37%，其中具有代表性的有青藏高原、内蒙古高原、黄土高原和云贵高原，如图 1-1 所示。

1. 青藏高原

青藏高原是中国最大的高原，也是世界上最高的高原，平均海拔高度达 4 500 m，因此有“世界屋脊”和“第三极”之称。青藏高原周围大山环绕，南有喜马拉雅山，北有昆仑山和祁连山，西为喀喇昆仑山，东为横断山脉；青藏高原内还有唐古拉山、冈底斯山、念青唐古拉山等。它包括西藏和青海的全

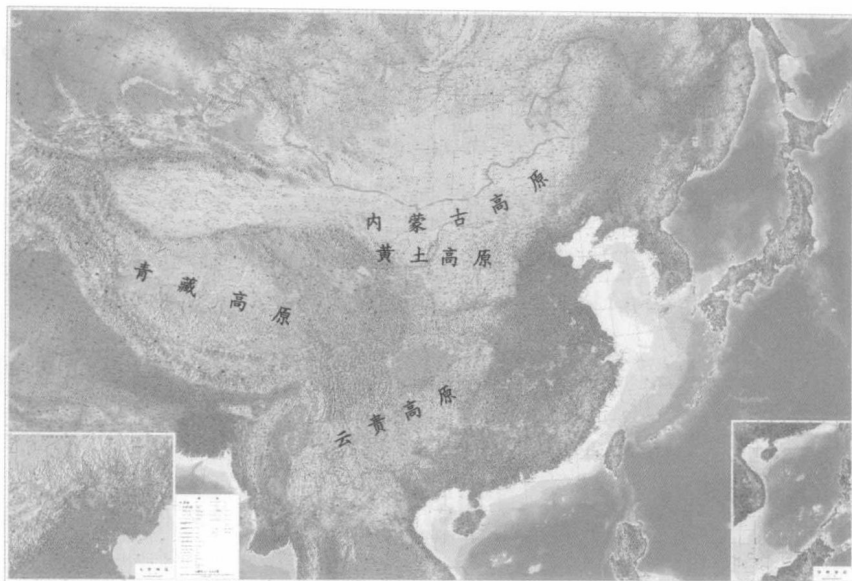


图 1-1 中国高原地区分布图

部、四川西部、新疆南部及甘肃、云南的一部分地区，总面积约 230 万平方千米。

2. 内蒙古高原

内蒙古高原位于中国北部，是中国的第二大高原。内蒙古高原开阔坦荡，地面起伏和缓，多宽广盆地，草原辽阔，是中国重要牧区和沙漠地区。内蒙古高原东起大兴安岭，西至马鬃山，南沿长城，北接蒙古，为蒙古高原的一部分，海拔为 1 000 ~ 1 500 m。内蒙古高原气候十分干燥，沙漠分布面积要占全国沙漠总面积的 37.8%。

3. 黄土高原

黄土高原北起长城，南达秦岭，西抵祁连山，东至太行山，横跨陕西、山西、甘肃、青海、宁夏、河南等六个省区，总面积达 58 万平方千米，是世界上黄土分布最广阔、最深厚、最典型的黄土地貌区。黄土高原作为世界最大的黄土堆积区，黄土层厚达 50 ~ 180 m，气候较干旱，降水集中，植被稀疏，水土流失严重，形成了千沟万壑的地貌特征，平均海拔为 800 ~ 2 000 m。

4. 云贵高原

云贵高原位于我国西南部，包括云南省东部、贵州省全部、广西壮族自治区西北部以及四川、湖北、湖南等省的边境地区，是我国南北走向和东北——

西南走向两组山脉的交汇处，地势西北高，东南低，它大致以乌蒙山为界分为云南高原和贵州高原两部分。西面的云南高原海拔在 2 000 m 以上，高原地形较为明显；东面的贵州高原起伏较大，山脉较多，高原面积保留不多，称为“山原”，海拔在 1 000 ~ 1 500 m 之间。

1.2.2 青藏高原地理环境

中国地势西高东低，呈阶梯下降，从青藏高原向东延伸到海面以下的大陆架，可以分为 4 个大的阶梯，图 1-2 所示为沿北纬 36° 中国地形剖面图。

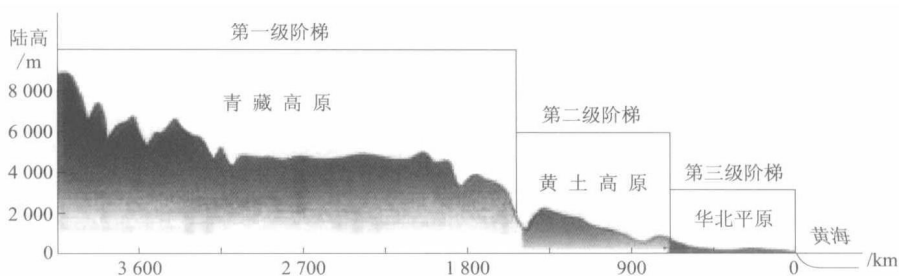


图 1-2 沿北纬 36° 中国地形剖面图

青藏高原幅员辽阔，地势高耸，不但是我国大陆地势上最高的一级台阶，也是地球上最高的一级地貌台阶，因而有“世界屋脊”之称。在广袤无垠的青藏高原地区，分布着世界上许多著名的巨大山脉、源远流长的江河、数量众多的沉积盆地和星罗棋布的内陆湖泊，发育有高山、高原、湖盆和谷地等主要地貌类型。

青藏高原地势西北高东南低，并由于地质构造的不同和河流的强烈侵蚀切割，地貌的区域差异非常明显。在青藏高原东南部，即青藏高原东南边缘地区，以高山峡谷地貌为主，地势向东南倾斜。在青藏高原东北部，包括青海南部、川西北部、甘南西部和藏北东部，总体呈宏大的山原地貌，主要地形是起伏不大的高原丘陵，有缓缓隆起的山岭，也有切割于高原之中的河谷，但一般切割不深，多为宽平河谷，还有不少盆地。在青藏高原的南部，冈底斯山-念青唐古拉山与喜马拉雅山之间为藏南谷地。宽谷地貌发育较好，雅鲁藏布江自西而东流经其间，海拔高度多在 3 500 ~ 4 500 m。在青藏高原的北部，冈底斯山-念青唐古拉山以北，昆仑山以南，青藏公路五道梁至那曲段内流与外流区域分水岭以西，为羌塘高原区，发育着浑圆状低山、丘陵与宽谷、湖盆相间地貌，海拔高度 4 600 ~ 5 000 m。

1.2.3 青藏高原气候环境

青藏高原是我国乃至世界上最具代表性的高原，它的气候特点可以概括为：气候类型复杂、垂直变化大；随着海拔的升高，大气压力下降，空气密度减少，含氧量降低；平均气温下降，昼夜温差大，年低温期长；气候干燥，降水量低，蒸发量高；日照时间长，紫外线辐射强；风沙尘大；水的沸点低等。我国国土大气压力、气温、空气密度、湿度、水沸点等环境参数与海拔高度的对应关系见表1-2。

表1-2 我国气压、气温、空气密度、湿度、水沸点等参数与海拔高度的对应关系

序号	环境参数		海拔高度/m					
			0	1 000	2 000	3 000	4 000	5 000
1	气压 /kPa	年平均	101.3	90.0	79.5	70.1	61.7	54.0
		最低	97.0	87.2	77.5	68.0	60.0	52.5
2	空气温度 /℃	最高	46.4	46.4	35	30	25	20
		最高日平均	35.3	35.3	25	20	15	10
		年平均	20	20	15	10	5	0
		最低	+5, -5, -15, -40, -45					
	最大日温差/℃		15, 25, 30					
3	空气密度/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)		1.225	1.112	1.006	0.909	0.819	0.763
4	水沸点/℃		100.0	96.9	93.8	91.2	88.6	86.7
5	相对湿度 /%	最湿月月 平均最大 (平均最低 气温/℃)	95.9 (25)	95.9 (25)	90 (20)	90 (15)	90 (10)	90 (5)
		最干月月 平均最小 (平均最高 气温/℃)	20 (15)	20 (15)	15 (15)	15 (10)	15 (5)	15 (0)
6	绝对湿度 /($\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)	年平均	11.0	7.6	5.3	3.7	2.7	1.7
		年平均最小值	3.7	3.2	2.7	2.2	1.7	1.3
7	空气含氧量/($\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$) (20℃)		323.0	280.5	253.4	223.4	196.4	172.1
8	最大太阳直接辐射强度 /($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)		1 000	1 000	1 060	1 120	1 180	1 250

续表

序号	环 境 参 数	海拔高度/m					
		0	1 000	2 000	3 000	4 000	5 000
9	年平均紫外线辐射强度 / (W · m ⁻²)	54.0	57.7	61.0	65.0	67.7	71.0
10	最大风速/ (m · s ⁻¹)	25, 30, 35, 40					
11	最大 10 min 降水量/mm	15, 30					
注：在最低空气温度、最大日温差、最大风速、最大 10 min 降水量等几项中可取所列数值之一。							

青藏高原的气候环境特点具体表现为：

1. 气候类型复杂、垂直变化大

西藏高原幅员辽阔，地势西北高、东南低，藏北高原海拔达 4 500 ~ 5 000 m，藏东南谷地海拔 1 000 m 以下。复杂的地形，破坏了气候的纬度地带性，使气候的水平变化与垂直变化交织在一起，气候类型复杂多样。不仅具有西北严寒、东南温暖湿润的特点，而且呈现出有东南向西北的带状更替。

2. 天气寒冷，昼夜温差大

青藏高原拥有世界上罕见的高寒草甸区和雪冰川区，年平均气温低，寒冷期长，昼夜温差大，气温地域性差异十分显著。青藏高原除海拔较低的东南部 and 少数河谷，年平均温度可达 7 ℃ ~ 10 ℃ 外，大部分地区的年平均气温在 - 5.8 ℃ ~ 3.7 ℃ 之间；最冷月（1 月）月平均气温 - 8 ℃ ~ - 17 ℃，极端最低气温 - 27 ℃ ~ - 46 ℃；最热月（7 月）月平均气温 5.5 ℃ ~ 13.6 ℃，极端最高气温 19.2 ℃ ~ 28.7 ℃。据统计，同纬度地区海拔每上升 1 000 m，大气温度则下降 6.5 ℃；海拔越高，年低温期越长，海拔 4 000 m 以上的地区，年平均气温在 - 4 ℃ 以下。

3. 大气压力低、空气密度小、空气含氧量低

不同海拔地面的大气压力是由当地单位面积上垂直空气柱的重力所决定的。随着海拔高度的上升，大气压力下降，空气密度逐渐减小，空气中的含氧量下降。海拔每升高 1 000 m，空气密度下降约 6% ~ 10%，含氧量下降约 10%。在海拔 5 000 m 的地方，空气中的含氧量仅为海平面的 53%。

据有关资料可知，大气压力与海拔高度的对应关系为：

$$p_{air} = p_0 (1 - 0.022\ 57H)^{5.256} \tag{1-1}$$

式中， p_0 ——标准大气压力，kPa；

H ——海拔高度，km。

6

4. 日照时间长, 紫外线辐射强

青藏高原空气稀薄, 云层较少, 空气透明度好, 日照辐射特别强, 是我国太阳能资源比较丰富的地区之一, 年日照数在 3 000 h 以上。由于海拔高, 紫外线非常强烈。据测定, 青藏高原的紫外线辐射强度是纬度相近的平原地区的 3 倍。海拔每上升 1 000 m 约增加 10%。另外, 由于地貌条件的差异, 青藏高原不同地区太阳总辐射值有所不同, 总的分布规律是从东南往西北增高; 一年中的季节变化是夏季最大, 春季次之, 冬季最小。

5. 气候干燥, 风和沙尘大

青藏高原属于典型的荒漠半荒漠地带, 降水量少, 蒸发量大, 气候干燥, 大风天气多, 空气含尘率高达 $1\ 000 \sim 3\ 000\ \text{mg}/\text{m}^3$ 。据统计, 每年平均 6 级以上大风天气就 120 多天, 其中 8 级以上的占 60%, 年平均风速达 $17\ \text{m}/\text{s}$, 最大风速可达 $28\ \text{m}/\text{s}$ 。

6. 水的沸点低

随着海拔高度的升高, 大气压力的降低, 水的沸点也随之降低 (见表 1-2)。海拔高度达 4 000 m 以上时, 水沸点将下降至 $90\ ^\circ\text{C}$ 以下。青藏高原海拔多在 4 000 m 以上, 当汽车发动机的冷却水温度还没有达到平原地区正常工作温度时已经沸腾, 从而导致发动机冷却不足, 机体过热, 易开锅, 进而导致整机性能恶化, 可靠性和寿命降低。

青藏高原的气候特点概括起来主要为“三低两强”, 即“气温低、气压低、空气含氧量低、紫外线强、风沙强”。其中大气压力、空气密度、平均紫外线辐射强度及空气含氧量随海拔高度的变化规律如图 1-3 所示。

1.2.4 青藏高原地区公路交通条件

目前内地通往西藏的国家级战略公路有四条: 青藏公路、川藏公路、新藏公路、滇藏公路, 其他等级公路也很多。青藏高原地区的公路交通条件具有以下两个显著特点:

(1) 路网稀而偏, 密度小, 外通条件差而少

目前, 青藏高原地区公路密度仅为每 100 平方千米 208.19 m, 为全国平均水平的 18.9%。特别是藏北、青西地区公路更为稀少, 交通不便的问题比较突出。

(2) 公路技术等级低, 质量差

目前, 青藏高原地区尚无高速公路等高等级公路, 在全部通车里程中, 二级公路只占 1%~5%, 三级公路占 13%~14%, 四级和等级外公路占 80% 左右, 其中等级外公路占 47%~48%, 大大高于全国平均水平。

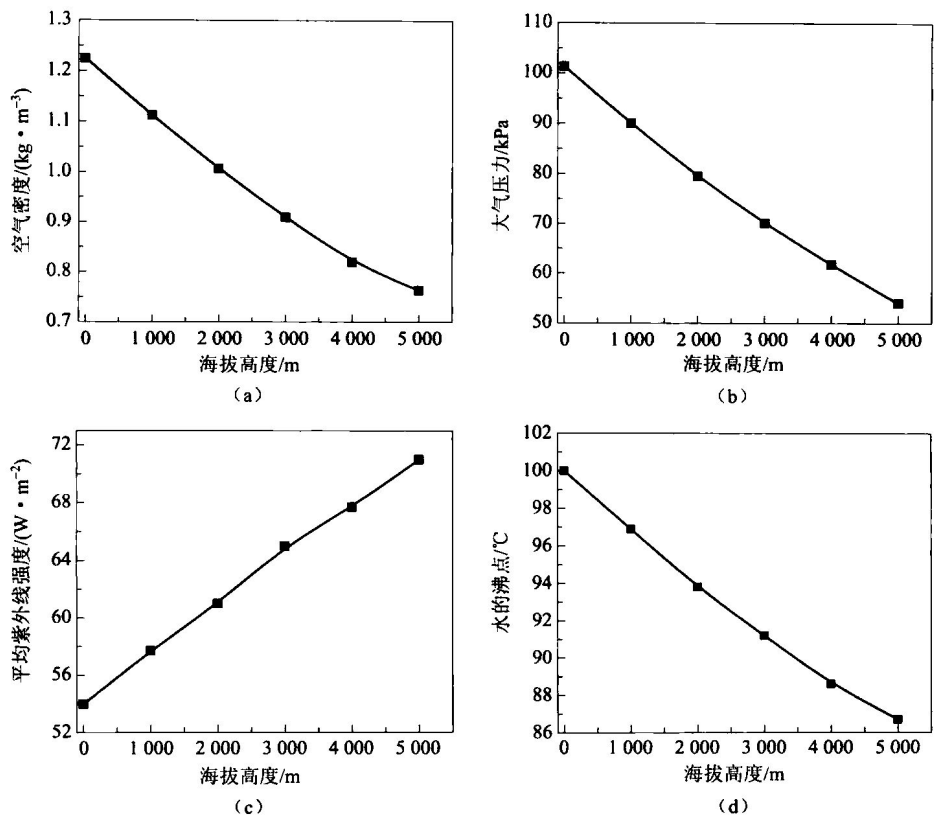


图 1-3 高原典型大气参数随海拔高度的变化规律

(a) 空气密度随海拔高度变化曲线；(b) 大气压力随海拔高度变化曲线；
(c) 年平均紫外线强度随海拔高度变化曲线；(d) 水的沸点随海拔高度变化曲线

图 1-4 为西藏地区各种类型公路上里程数；图 1-5 为西藏地区的等级公路上里程数。

1. 青藏公路

青藏公路（国道 109）起于青海省西宁市，止于西藏拉萨，是世界上海拔较高（最高的是新藏线），线路最长的柏油公路，也是目前内地通往西藏里程最短、路况最好且最安全的公路。青藏公路全长 1 943 km，西宁市至格尔木市段路线 782 km，全段海拔 2 200 ~ 3 800 m；格尔木市至拉萨市段长 1 161 km，全段海拔在 4 000 m 以上；唐古拉山口是青藏公路最高点，海拔 5 231 m。青藏公路沿途海拔高度及车程如图 1-6 所示。

青藏公路为国家二级公路干线，路基宽 10 米，坡度小于 7%，最小半径

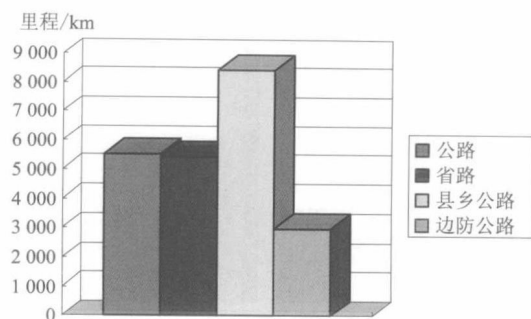


图 1-4 西藏地区各种类型公路里程数

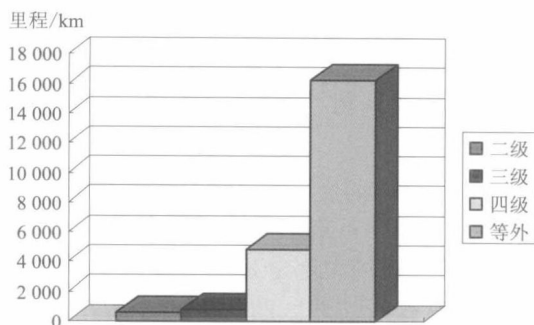


图 1-5 西藏地区不同等级公路的里程数

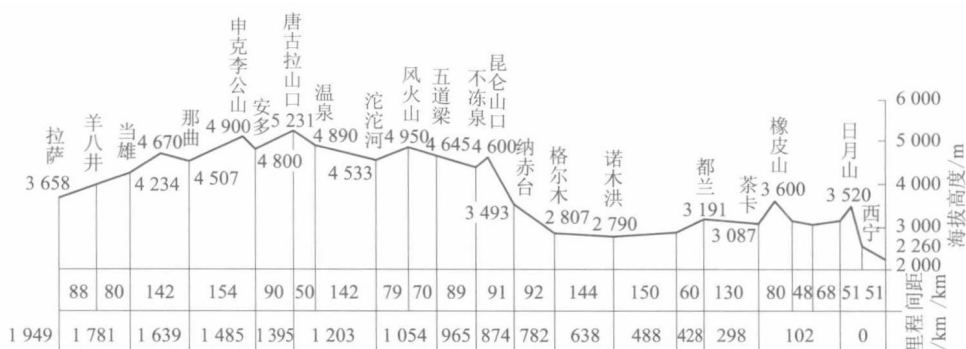


图 1-6 青藏公路沿途海拔高度及车程示意图

125 m。在青藏铁路开通之前，青藏公路是西藏地区交通运输的主干线，也是西藏地区国防和经济建设的物资输送和人员输送动脉，承担着 80% 以上进藏物资的运输任务。青藏公路的道路情况见图 1-7 所示。



图 1-7 青藏公路的道路情况

2. 新藏公路

新藏公路（国道 219）北起新疆叶城，经库克牙、康西瓦、甜水海，入藏后经日土、噶尔，南抵西藏的普兰，全长约 1 450 km，是连接新疆和西藏的唯一交通要道，与印度、巴基斯坦、阿富汗及印控克什米尔毗邻，具有重要的战略地位。

新藏公路平均海拔 4 200 m 以上，是世界上海拔最高、路况最艰险的公路。新藏公路全线海拔在 4 000 m 以上的路段有 915 km，海拔 5 000 m 以上的路段有 130 km。新藏公路经过的大部分地区是高寒缺氧的无人区，冬季气温达零下 40 ℃，氧气含量只有内陆地区的 44%；全程平均海拔比青藏公路高，海拔最高点是 5 420 m 的界山达坂。新藏公路弯多坡陡，纵坡大于 9% 的长坡约有 300 多处，最大纵坡大于 13.5% 的有近 40 处，沿线要翻越 8 个达坂，多处冰川。新藏公路自然条件恶劣，路况极差，大部分为沙石路段，夏季常有水毁、塌方和泥石流路段，冬季有积雪、冰坎路段以及雪崩等自然灾害。新藏公路的道路情况见图 1-8 所示。

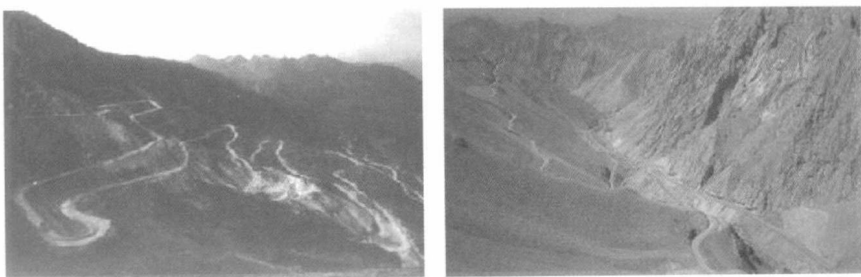


图 1-8 新藏公路的道路情况

3. 川藏公路

川藏公路有两条，北线 317 国道和南线 318 国道。川藏公路从四川新都桥处

分为南北两线，北线经甘孜、德格，到西藏昌都；南线经理塘、巴塘，到西藏芒康，在邦达与北线会合，再经波密、林芝到拉萨。北线是318国道（上海—西藏樟木）的一部分，全长约2 400 km，最高点是海拔4 916 m的雀儿山。南线全长约2 150 km，最高海拔为4 700 m的理塘。北线相对南线而言，所过地区多为牧区，海拔高，人口稀少。南线相对北线而言，所经过的地方多为人口相对密集的乡镇地区。川藏公路自然条件恶劣，途经二郎山、雀儿山、色季拉山等14座海拔在5 000 m以上的险峻高山，跨越大渡河、金沙江、怒江、澜沧江等汹涌湍急的江河，道路多泥石流、塌方等危险。川藏公路的道路情况见图1-9所示。



图1-9 川藏公路的道路情况

4. 滇藏公路

滇藏公路（国道214部分）全长1 930 km，1974年完成并且通车。起点为中国云南景洪，包括昆畹公路（又称滇缅公路）部分路段，途径西藏芒康、左贡、昌都、类乌齐至界多普玛，与川藏公路南线连接。滇藏公路海拔落差不算太大，处于海拔4 000 m以上的路段有39 km；3 000 ~ 4 000 m的有239 km。这些路段不仅有雪山峡岩、隧道大桥，而且空气稀薄，气候严寒。滇藏公路的道路情况见图1-10所示。



图1-10 滇藏公路的道路情况