

工程决策中的综合优化

——以铁路为例

SYNTHETIC OPTIMIZATION IN ENGINEERING DECISIONS with Railway Examples

著 者 王 柢 西南交通大学
王大寿 大连海事大学
译 者 严良田 西南交通大学

西南交通大学出版社
· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

工程决策中的综合优化: 以铁路为例/王祗著, 严良田译. —成都: 西南交通大学出版社, 2002.4
ISBN 7-81057-390-X

I. 工... II. ①王...②严... III. 铁路工程—经济决策—最优化 IV. F530.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 53506 号

工程决策中的综合优化
——以铁路为例

著者 王 祗 王大寿

译者 严良田

*

出 版 人 宋绍南

责任编辑 刘婷婷

封面设计 毕雪屏

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行科电话: 7600564)

[http //press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

E-mail cbs@center2.swjtu.edu.cn

成都飞机工业公司印刷厂印刷

*

开本: 850mm×1168mm 1/32 印张 85

字数: 213 千字 印数: 1~1000 册

2002 年 4 月第 1 版 2002 年 4 月第 1 次印刷

ISBN 7-81057-390-X/F·063

定价: 20.00 元

前 言

纵观各国往昔的土木工程,不乏杰出和感人的作品,但其中也有不合格的作品。在后者中,失败的原因可能出现在任何阶段,但最终、最大的经济损失和对社会产生的危害往往来自规划阶段。有些规划阶段的决策失误,不仅造成人力、物力和财力的浪费,而且对环境引起长远的祸患,时间可长达数十年,甚至数百年,这种在规划阶段决策不当的工程,一旦建成,其祸患很难在下一阶段消除,甚至永远不能消除,无论细部设计工程师如何精明,施工组织如何有效,也不管管理者和维修工程师如何熟练和勤奋,都无济于事。

在那些不能令人满意的规划决策中,失误的原因是多方面的:

- (1) 业务量(运量)估计错误;
- (2) 忽视国内外已有的经验教训;
- (3) 职能部门或系统之间不协调;
- (4) 思想保守,包括缺乏足够的科技进步估计;
- (5) 人为错误或个人专断等。

不同工程领域内,在设计、施工和维修方面,有关理论、方法和规范以及土木工程系统数学优化的图书,出版了许多,但跨专业的协调规划决策文献,却是凤毛麟角(水利工程除外)。

自机助优化方法广泛发展以来,已在根据某种预定决策进行的桥梁、建筑结构、线路定线和其他构造物的详细设计技术方面获得成功。但是,在大多数工程的实际规划阶段,可供遵循的科学的、适当的决策原理和方法尚未付诸实施。因此,成功的工程设计和不良的工程设计仍在我国并存,因而招致重大损失。随着我国经济建设的迅速发展,这种浪费现象如不予以彻底改进,长期的经济损失和发展进程的延缓,将无法估量。

此外,我国山区和沙漠地带的地形地貌条件非常复杂,考虑不周的规划决策将成为破坏水土并使环境每况愈下的一个因素。前景堪忧!

鉴于这种情况,综合优化的定性和定量研究工作,内容包括初步概念、铁路机车和线路标准协调的分析、数学模型推导和在实际工程中印证等已达数年之久,20 世纪 60 年代进行的铁路运营支出模型研究的时间尚未计入。

综合优化具有系统工程的性质,但已大为简化,用于实际工程比较方便。鉴于方法的灵活性和避免术语的滥用,使作者在研究工作中和本书中都采用现用名称——综合优化。

对于采用传统方法设计的既有线路,重新改用综合优化方法设计时,在经济效益方面,综合决策优于传统的决策方法已被证实,无一例外。原因是,如果严格执行,由于人为的和武断的错误;由于缺乏经验和其他成见引起的错误;由于有关专业和机关之间互不协调引起的经济损失,都将自动消除。

虽然大部分数学模型的例子专用于铁路设计,但是综合优化的原理和方法,其他土木工程设计同样可以采用。因为,每种工程都包括改造土地、安全防灾、环境保护、节约农田和再造农田、控制沙荒和开垦沙漠、相邻工程设计之间的协调和建筑本身各职能部门之间的协调。本书中叙述的综合原理和方法也可国际通用,诚恳希望本方法的推广应用能够使设计概算得到大量的节约。

著者认为本书远非完善。在有些地方它属于观点和建议的性质,但对其实用性和生命力则深信不疑。综合原理的数学方法须在经济发展与技术进步中得到补充和完善,这无疑将会由年轻的工程师和学者们来完成。

最初的本文,自 1984 年起为西南交通大学铁路工程专业研究生的教材,也可作为高年级大学生的参考书,这些学生最好已经学过“铁路设计”课程和工程师适用“优化方法”课程。近年来,通过删减细节材料和增加工程决策、职业道德方面内容,本书更适于作

为铁路工程师和决策者的参考书。竭诚欢迎他们对本书提出批评,提供意见和建议。

致谢

—铁道部、中国社会科学院、中国铁道学会、铁道部科学研究院,多年来为研究工作提供所需的资料,多次参加专题座谈会、讨论会、现场调查和评估会,使著者对我国的铁路有一个概括了解。

—德国联邦铁路、法国国有铁路、美国铁路工程协会、瑞士联邦铁路和澳大利亚铁路,它们慷慨提供新的资料和历史资料,用作综合优化研究的参考。

—由国际铁路协会(IRCA)和国际铁路联盟(UIC)联合发行的《国际铁路》(《Rail International》)月刊,它用四种语言陆续发表了作者5篇论文,使国际间的铁路设计人员了解到综合优化的概念。

—美国伊利诺斯(Illinois)大学荣誉教授 William W Hay,北方交通大学前任副校长、已故的金士宣教授,上海铁道学院已故的李秉成教授,德国亚琛 RWTH 科技大学 W. Schwanhauser 教授,他们对作者表示祝贺和鼓励,并对论文提出评论和意见。他们的意见提醒作者对疏漏之处及时加以补充。

—英国 Dundee University 的 Bill Harvey 教授来华期间专程来访,在交流工程技术方面意见之余,对工程决策中综合优化概念表示赞同。

—本书得到了国家自然科学基金项目和旅加学者汪常青博士的共同资助。

—书稿得到西南交通大学严良田教授和李秉生教授的细心核阅,改正了错字和误拼字,免去了书稿中的许多错误。

—在早年研究的铁路运营量支出模型中,计算工作是由当时1960年毕业,现任西南交通大学高级工程师的李世靖;现任沈阳

铁路局总工程师的刘琮铭和铁道部第三勘测设计院高级工程师孙永琦共同完成的。

—1985 年在《国际铁路》上发表,并在本书采用的优化计算工作是由西南交通大学副教授吴树和与现在加拿大 Calgary 的汪常青博士合作完成的。

王 砥

2001 年 8 月 20 日

目 录

第一章 优秀的工程建设与失误的建筑之对比	1
第一节 世界著名建设与不良工程的典型	1
第二节 中国铁路的辉煌成就	7
第三节 中国铁路工程决策中的教训	15
第四节 分析成就与教训的重要性	22
参考文献	23
第二章 铁路系统及其设计控制因素的优化	25
第一节 铁路系统规划决策的任务	25
第二节 铁路定线理论的发展	28
第三节 综合优化决策的界定	36
第四节 铁路系统分析和技术决策因素	40
参考文献	49
第三章 经济评价	51
第一节 宏观经济和微观经济	51
第二节 评价方法的比较	52
第三节 评价方法的讨论和建议	62
第四节 运量预测	69
参考文献	72
第四章 铁路运营支出数学模型	74
第一节 不同国家运营支出计算的比较	74
第二节 运营支出模型的推导	80
第三节 有关运营支出计算的进一步讨论	92
参考文献	101
第五章 地形条件和投资的数学模型化	103
第一节 地形分类	103
第二节 铁路投资总额数学模型的建模	116
第三节 中国工程建设的特殊考虑	125
第四节 在运营费与工程费模型中所使用的数据处理	129
参考文献	137

第六章 铁路设计的综合优化	138
第一节 优化模型示例	139
第二节 优化方法的选择	146
第三节 在中国铁路设计中实行综合优化决策的条件	156
第四节 检验与实证	160
第五节 综合优化决策的灵活性和严格性	168
第六节 在工程设计中设备的综合改善	170
参考文献	174
第七章 相邻工程的协调规划	177
第一节 水利工程和铁路工程	177
第二节 港口工程和铁路连接	183
第三节 公路、航空、远洋运输和铁路	187
第四节 城市规划和铁路布置	189
第五节 土木工程和环境保护	197
参考文献	203
第八章 技术革新与工程建设政策	205
第一节 铁路设计规范的修订	205
第二节 重载货运列车	217
第三节 爬上大山的准备	220
第四节 提高速度	226
第五节 严格执行国家技术政策与哲学原则	229
第六节 采用坚决措施摆脱铁路发展的恶性循环	234
第七节 以“去粗取精”原则来参考中外经验	235
第八节 在西藏、川西和云南铁路采用米轨的建议	239
第九节 铁路网与地方铁路	243
第十节 工程教育	245
参考文献	249
第九章 结 论	253
第一节 建立严正的技术决策原则	253
第二节 工程的总结报告和讨论	255
第三节 工程师的思想意识教育与职业道德	257
参考文献	264

第一章 优秀的工程建设 与失误的建筑之对比

历史上的土木工程中,成功的工程和不良工程之间有天壤之别。优秀的工程使人民获得经济效益和社会效益,为人类提供持久的福利;而劣质工程则导致人力、物力的浪费,并延缓生产的发展;最差的工程会成为灾害,而且不再能够恢复原状。以下实例可供参考。

第一节 世界著名建设与不良工程的典型

一、都江堰导流与灌溉工程

都江堰综合工程是世界上最早的水利工程之一,位于四川省中部,由著名的当地郡守李冰及其子于公元前 256 ~ 公元前 251 年间设计并监管。该工程由几处导流防护堤、分水鱼嘴、溢洪堰和宝瓶口等结构组成,相互关联,成功地将岷江主水道分向大小五个支流,不但遍布川西平原,而且调节了南去的下游流量。受益地区免遭洪水之苦,农产品稳定保收。都江堰结构见图 1-1 所示。

宝瓶口是人工开凿而成的。溢洪堰由竹笼、石块筑砌,可被冲刷,冲刷程度视洪水流量而定,溢洪堰每年维修一次,维修工料均很简易。溢洪堰根据洪水流量自动调节分到下游的流量,同时与这些工程一起作用,保护水利设施,并把总流量适当地分别注入各个支流。

1. 岷江
2. 内江
3. 外江
4. 灌县城
5. 护岸堤
6. 飞沙堰
7. 宝瓶口鱼嘴
8. 二王庙

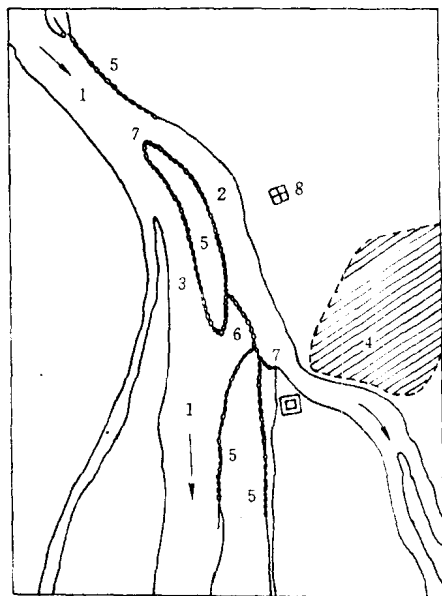


图 1-1 都江堰示意图

其后多年来,在原有基础上,当地人民继续扩大治河效果和灌溉效果。1950 年以后,兴建了水电站和水闸,为都江堰工程提供了更大的控制力量,使川西平原“水旱从人,不知饥馑”,号称“天府之国”。

在中国,山区面积占整个国土面积的 65% 以上,而农田面积仅为 11% 左右。都江堰这个古老的水利工程,为最大省份的心脏地带带来长期的经济发展。在这种情况下,都江堰工程作为我们祖先极其宝贵的遗产而当之无愧。

我们需要研究一下,在 2150 年前,在没有现代机具,没有技术理论,没有先进的建筑材料的情况下,究竟是何原因,是何办法使李冰父子完成这一不朽的事业? 这要追溯他们在此伟业中勘测、调查、设计、施工的具体细节已是不可能的,但是可以确知有两点很关键:

1. 李氏父子肯定知道,他们必须全面掌握岷江及其全部流域

的自然情况,并对河流与气象在不同年份、季节的变化与规律做周密的调查。为此,他们耗尽心血、年复一年地用虽很原始但却聪明而又实用的方法做了彻底地观测工作。

2. 在这一多变的条件下,要求对各主流、支流水道中流量的分配和堰的构造等细节得到一个最佳方案,要想在一次设计中就能取得成功是不可能的。他们一定是做过多种比较方案、试验施工才获得成功。并给后代留下了“深淘滩、低作堰”的维修格言和以石人为标志的永久性水尺。

这些精神正是我们这些后代应该永志不忘的。四川人民怀着崇敬和感激之情,为纪念这位伟人为社会所创造的永世恩泽,修建了一座庄严的殿堂。这项工程对工程人员一直起着重要的教育作用。如今,技术、机具、书本、设计理论、新施工、新材料比那时不知进步了多少,如果我国在工程建设中仍存在这样那样的缺陷,甚至是灾难性的,我们难道不愧对先人吗?

二、三门峡水利枢纽

比起都江堰水利综合工程来,晋豫交界黄河上的三门峡水利工程可称为一项失误的工程。

在5 000多km的黄河干流中,约有2 000 km是流经黄土和沙漠地区。因此,黄河中下游的水流中常年携带着大量泥沙。大量河段的河床早已高出两侧地面,高大的两岸大堤需要随河沙的累积不断加高加大。黄河已成世界闻名的悬河。

50年代,置反对意见于不顾,一座带有水电站的大坝在黄河中游的三门峡横跨宽大的河身修建起来。现在被坝拦成的水库已经严重淤积,虽然采取了艰巨的排沙措施,发电量还是仅剩原设计的很小部分(断流期间更不用说)。总之,大坝的建成加剧了河床淤沙。现在,西北防护林伟大工程正在进行,希望今后水土流失的现象随人们的努力和时间的推移能够逐渐得到改善。

这种不良的决策,主要是由于忽视黄河流域的地质情况与黄河泥沙含量的结果。

三、瑞士的林业、铁路、隧道和水力发电工程成就

很早以前,阿尔卑斯山区的人民就有保护森林的传统,森林阻挡了大部分暴风雨和融水,并防止了山坡的冲刷。从19世纪末叶人们开始利用水电以来,降水量获得了更加充分的调节。这就给农业、工业和有规律的下游流量打下了良好的基础。

19世纪中叶以后,铁路在这个43 000 km²、人口600多万的山区国家迅速发展,修建了各种形式的铁路:黏着铁路、齿轨和齿轮铁路、齿轨—黏着铁路和缆索铁路;有标准轨距铁路,也有窄轨铁路;有国家铁路,也有地方铁路。这些铁路构成一个三维铁路系统,为联邦政府所有或私营企业所有。黏着铁路达到的最大高程是2 257 m,齿轨和齿轮铁路是3 454 m,齿轨—黏着铁路是2 160 m,缆索铁路是2 663 m。最大坡度:标准轨距黏着铁路是27‰,窄轨黏着铁路坡度的限值通常是60‰,但有一高达73‰的例外。因此,可以说瑞士铁路可以到达大阿尔卑斯山的任何地点。

瑞士山区铁路的主要特点是:首先,以破坏地形最少来完成运营的需求;其次,随着运量需求的增长,铁路加大其牵引力,而不是靠大规模的改建工程来满足需要。水电设施促进了工业的发展,并大大加强了铁路建设。现在,几乎所有的铁路都已电气化了。大多数铁路的运量已达第二次世界大战前的许多倍,而改建工程却很少。

另一项显著的成就是开凿长隧道以帮助铁路征服高山。长度为14.91 km的哥达(Gothard)双线隧道穿过阿尔卑斯山区,于1882年开通。其后,长为19.69 km的辛普朗一号(1st Simplon)隧道于1906年完工,长为14.5 km的罗施伯格(Lötschberg)双线隧道于1913年完工,长为19.71 km的辛普朗二号(2nd Simplon)隧道

于1921年完工。修建如此长的标准轨距干线隧道,其决策是在百年前做出的,值得称赞。隧道节省了山区的展线长度,克服高度为3 000 m。

所有这些工程措施,再加上自第一次世界大战前以来长期的国际中立地位带来的和平环境,使这个山区小国成为世界上最繁荣、最有生气的地方。

此外,由于阿尔卑斯山区各国对暴雨雨水的控制和河道的治理,使沿河下游的欧洲各国,在防洪、航行和供水方面受益匪浅。这些都导致许多国家工业150余年的持续发展。

与上述两项杰出的例证相反,在南美洲亚马逊河上游,中国的黄河、印度和孟加拉国的布拉马普特拉河(其上游河段在中国西藏境内,称为雅鲁藏布江),所采取的环境保护和水能保护措施不多,甚至有些地方森林已遭破坏,社会经济十分落后,沿河人民遭受频繁的洪灾和经济损失之苦。

四、美国铁路建设中不利的一面

美国铁路规模之大,建设速度之快及对其国家发展的促进作用是有目共睹的。但是,它曾对某些线路沿线人民与社会造成的破坏作用也不容忽视。这对我国今后修建铁路是一种借鉴。

美国铁路企业都是私营的,它们之间互相独立。由于从19世纪中叶开始的各种矿产开发、工商业建立等所谓的“加州淘金热”的经济刺激,导致铁路建设迅速发展。到1916年,全国铁路网的总长度已超过420 000 km,这当然是资本主义经济发展有利的一面。美国早年的移民主要是在东海岸,发展先是在东部地区,随后正是由于修建铁路才把东部的繁荣带到全美各地。

在内战结束不久的1869年,第一条通往太平洋海岸的铁路开始运营。这正像我国的兰(州)—新(疆)铁路1966年通至乌鲁木齐,1990年北疆铁路又延伸到国境西陲的阿拉山口与前苏联铁路

接轨一样。在 1840 ~ 1900 年之间,美国被多次战争所困扰,但是,铁路建设事业并未受到什么影响。这说明私营的铁路企业对经济发展具有无穷的推动力量。

可是,庞大的美国铁路网络并非是在完善、健康的情况下发展的,原因如下:

1. 大、小的铁路系统各有各的技术和运营标准。
2. 有些线路的建筑物带有临时性,如木便桥、木涵洞、木站台等。建造这些铁路的目的只是作为掠夺矿产的工具,根本没有长远目的。
3. 另外,还有一些铁路在与公路运输竞争中失败,而被迫停业。

正如 Arthur M. Wellington 在其所著的《铁路定线的经济理论》(1877 年第 1 版)中写道,“我们的铁路定线全都是不经济的”。果然,自 1916 年开始,有不少的铁路随着矿产枯竭而废弃,有些面对其他运输业的竞争而停业,有的随建筑物腐朽而报废,还有的线路是因政府或地方修水库,由于水位提高,改线而报废。

除上述停业报废的铁路外,还有很多原来的短线铁路逐渐地经过联合、兼并而改建成为长大的干线,归并之后,不少线路变为无用。因此,数十年后,美国铁路总里程减少了约 150 000 km,比我国铁路总长的两倍还多。

原来开矿的、办铁路的企业家们赚钱后,停业一走了之,但 150 000 km 铁路沿线的居民和环境则遭受灾害,很多原来依靠矿场与铁路而兴起的小市、镇突然变得死气沉沉。生意倒闭,工人失业,社会秩序紊乱,治安不良,有些小城被称为“Tough town”,即“粗野的城”。

铁路修建之初,在沿线砍伐了大量树木。铁路停业,遗留下的则是破坏的土地、房屋的废墟和废弃的材料、机具,这种被破坏的环境与秩序需要十年万至几十年才能恢复。

这样大范围的破坏,总的损失是很大的。足以作为其他国家的前车之鉴,在一个有控制力的国度里应该是可以避免的。

第二节 中国铁路的辉煌成就

一、詹天佑的贡献与成就

1. 远见的决策

在近一百年之前,中国周边国家的铁路采用各种不同的轨距:例如,在日本用 1.067 m 轨距,俄国用 1.524 m 轨距,而其他国家用 1.000 m 和 1.435 m 轨距。在中国,有英国势力修建的 1.435 m 轨距的唐山—天津铁路和法国人主持修建的 1.000 m 轨距的滇越(昆明—河口通越南)铁路,而以中国铁路土木工程建设之父詹天佑为代表的铁路权威决定采用 1.435 m 为全国铁路干线的标准轨距。并且根据詹天佑的建议,一开始就采用自动车钩,所采用的桥梁与结构物的荷载标准,后来只经过微小的修订,至今仍适合我国机车车辆的实际情况。

2. 第一条山区铁路,北京—张家口线

长城所在的燕山山脉是华北最雄伟的屏障。1905 年,在社会条件非常困难,包括统治者的愚昧,经济的拮据和来自外国的压力的情况下,詹天佑用了极其巧妙、经济的办法(例如初期的“之”字线,穿过居庸关附近当时的长隧道 1 091 m 和 0—6—6—0 型的复式马利式机车),克服了燕山的天堑。那项用 33.3% 最大坡度与 0—6—6—0 复式机车的协调配合的设计思想,正是本书中所继承与发展的综合优化的最初期的概念。只不过在 1994 年之前,没有用这一技术名词,并且不是用数学模型与优化方法进行设计而已。

这 200 多 km 的铁路造价合理,且建造工期只用了 4 年。

3. 其他工程建设

1911~1919 年间,詹天佑还主持修建了韶关至广州与武汉至株洲的两段干线。

除北京—张家口这条山区铁路的创造性工程外,长隧道和桥

梁基础施工的气压沉箱法也是首次在中国由中国技术人员和工人完成,并且由此培养出很多铁路工程师与技术工人。

詹天佑还主持制定了中国铁路技术规范。

凡此物质上与精神上的贡献都为中国工程界奠定了基础。

二、解放后国有铁路系统的统一化

在1949年之前,中国境内的铁路实际上是由外国势力和地方军阀所控制。各路有自己的规章与设备,甚至在同一城区有各自的站场,这样就形成运输时间、能源、效率和土地的浪费。在1949~1952年的3年中所有的铁路都统一组合成一个国有铁路系统。在这一改革过程中,新建与改建了一些必要的联络线,一些客货运站场和机务段重新组成各专门用途的共用站场,全路制定了相同的规章制度。这一改组大大减少了客货运业务和列车的运行时间,节省了大量物力,增加了运输效益。

这项22 000 km既有铁路的大改组仅仅用了3年。其结果不但增加了旧线的效率,而且更重要的是为后来修建新线提供了便利条件。

现在,中国铁路从这一改革承袭下来的优良传统表现为下列各点:

1. 从一地至另一地的客、货运输,可以组织直通车,无需在中途更换列车,节省大量时间、人力与费用。这点其他国家是不易做到的。

2. 主要的编组站只在大的铁路枢纽站修建,不需要多余的车场与调车,这就可以使货车便捷地由装车地到卸车地。

3. 全国只有一套旅客列车时刻表。虽然现在全国只有约65 000 km线路。可以想象,将来即使铁路运营里程增加一倍(正如孙中山先生所期望的建成160 000 km),列车时刻表还只需那么一本。

4. 山西省铁路轨距的标准化。在 1949 年以前山西省内的铁路是由地方当局决定的 1.000 m 轨距,山西省的煤矿储量极大,而米轨铁路运输能力较弱,又给东南的运输造成不便,不利山西省煤的外运。山西铁路轨距标准化使全国的经济效率提高了效率。

三、发展全国路网骨架的长远政策

1950 年以前,只有 2.2 万 km 铁路,大部分位于我国东部的平原地区。从 1952 年开始,大部分新线修建在西南、东南山区和西北高原。这些铁路中,有许多穿越相当遥远的欠发达地区。当然,这些铁路在运营初期无利可图。但是,由于开发的原因,10 ~ 20 年后,铁路两侧地区已经相当繁荣:新工业和新城市建立起来了;运量迅速增大,业务量已达设计负荷的数倍。

这些高标准的干线和繁忙老线构成了全国铁路网的骨架,这就有力地促进了网线建设的进一步发展。由于 50 年代确定的这个政策,和随后的辛勤工作,中国西部的面貌已经大为改观了。水电站、工业中心纷纷建立,旧城市改换面貌,新城市兴起,文化、教育相应发展。

半个世纪以来,铁路新线所影响的面积大约有 200 万 km^2 。在这些开发铁路中,有一些出色的铁路工程是值得一提的。

四、宏伟的兰(州)—新(疆)铁路

它包括 1 902 km 的兰州至乌鲁木齐线和 456 km 的乌鲁木齐至国境西端的阿拉山口的北疆线。这条铁路是我国东起太平洋海岸,西至国境西端共 4 137 km 的最大干线的重要部分,同时也完成了第二条亚欧洲际大陆桥。

对于国家发展来说,该路在促进新疆地区的经济繁荣之外,还有力地协调了汉族与少数民族之间的关系,从而稳定了西北地区以至全国的社会秩序。