

Spatial INFORMATION Technology

空间信息技术

与在矿区可持续发展 管理中的应用研究

李志刚

著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

成都理工大学优秀创新团队培养计划资助项目
四川矿产资源研究中心资助项目
四川循环经济研究中心资助项目

空间信息技术在矿区可持续发展 与管理中的应用研究

李志刚 著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

随着我国经济的发展,对矿产资源的消费总量持续增长。但随着矿区资源的开发,在促进经济发展的同时,也引发了环境污染、安全事故、灾害等问题。本书在分析矿区开发管理信息服务需求、特征的基础上,研究了矿区可持续发展与管理的空间信息服务架构、模式和技术方法,并对矿区产业可持续发展战略规划和水平的评价指标体系、方法进行了较深入的研究。

本书系统性强、结构合理、知识层次清晰,可供高等院校管理工程、地理信息、环境工程、区域经济等专业的本科生和研究生学习使用,也可供相关领域的科研、管理工作者的阅读参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

空间信息技术在矿区可持续发展与管理中的应用研究 / 李志刚著. —北京: 电子工业出版社, 2013.6

ISBN 978-7-121-20694-8

I. ①空… II. ①李… III. ①空间信息技术—应用—矿区—可持续性发展—研究 IV. ①TD2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 128813 号

责任编辑: 赵 平 特约编辑: 韩奇桅
印 刷: 三河市双峰印刷装订有限公司
装 订: 三河市双峰印刷装订有限公司
出版发行: 电子工业出版社



北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 720×1 000 1/16 印张: 13.75 字数: 200 千字 彩插: 4
印 次: 2013 年 6 月第 1 次印刷
定 价: 46.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

前 言

矿业作为我国的基础产业，在国民经济和社会发展中具有重要的地位和作用。我国 95% 的能源、80% 以上的工业原料和 70% 的农业生产资料来自矿业。这说明我国作为世界上人口最多的国家，对矿产资源可持续供给依赖性很强，否则将难以长期持续稳定发展。但随着矿区资源开发、加工和利用在促进社会经济发展的同时，也引发了如环境污染、地表塌陷、地下水位低、水土流失、安全事故等多种日趋严重的问题。为此，提高矿区可持续开发管理的水平，研究矿区可持续开发管理空间信息服务理论、方式、技术方法等就成为学术界和矿区企业迫切需要解决的重大问题，它对矿区可持续发展具有重要的现实意义。

本书是在综合分析国内外学者和企业界取得的研究成果基础上，从空间地理信息服务的视角，通过对攀西矿区等地区信息服务需求情况调查分析，坚持理论分析与调查实践相结合来开展研究工作的。在研究方法和思路方面，以系统科学、可持续发展理论、信息服务理论等为指导，有效运用空间信息技术手段，分析矿区可持续发展和开发、管理过程中信息服务需求与特征，探索矿区的可持续发展空间信息服务的途径和措施，在地理空间信息服务理论的框架下，研究提高矿区可持续开发管理空间信息服务水平的技术平台和新方法，为矿区资源开发、生产管理、灾害治理、生态环境保护、矿产资源集约利用，以及经济社会发展提供技术支撑，为矿区的可持续发展和投资提供决策支持。

本书是作者负责的成都理工大学科研优秀创新团队培养计划

“资源企业管理工程评价方法与应用”(批准号:KYTD201101)、四川矿产资源研究中心项目“四川省矿产资源信息化服务模式与机制研究”(批准号:SCKCZY2011-YB001)、四川循环经济研究中心项目“矿业循环经济发展水平评价方法与实证分析”(批准号:XHJJ-1017)、四川省国土资源厅项目“四川省煤、铁、铜、铝土矿4矿种矿产储量利用调查数据库建设项目”(批准号:SCIC-2010-01-1)等项目的研究成果。全书系统研究了矿区空间信息分析方法、空间信息服务系统架构、空间数据整合与建库的技术方案、矿区可持续发展规划决策模型、矿区可持续发展评价的应用方法和技术,并选择攀西矿区作为案例进行了实证研究。

本书从空间信息技术的理论基础、典型功能、技术基础和实践应用四个维度对矿区可持续开发与管理的信息服务思路、系统架构及技术方法做了较深入、系统的研究,基本涵盖了目前该领域研究和实践的前沿知识。全书共6章,第1章介绍了空间信息技术在矿区开发管理中的应用研究现状和存在的问题,并设计了总体研究技术路线;第2章分析了矿区可持续发展面临的问题及开发管理的信息服务需求,并运用管理信息系统的思想设计了矿区开发管理信息服务的层次模型和立体概念模型;第3章应用SOA架构和Web Services技术,构建了矿区可持续发展空间信息服务系统的技术框架,研究了实现的关键技术;第4章分析了矿区开发管理的信息服务内容、类型与特征,对目前的数据整合技术进行比较,提出了以数据整合与服务共享为目的的矿区地理信息数据整合架构;第5章应用系统动力学方法构建了矿区产业可持续发展规划决策模型,并进行了模拟仿真、分析和GIS的空间可视化表达;第6章研究了矿区可持续发展水平评价指标体系和评价方法,并进行了实证分析。

本书在注重应用理论方法建立的同时,又研究了模型与实现的

技术方法，具有一定的创新性和应用价值。但是，本书只是矿区信息服务研究领域探索活动的一小步，在信息量巨大、决策所面临的环境日益复杂、新的理念不断涌现的环境下，矿区信息化建设及信息服务这个研究领域变得越来越复杂，无论理论还是方法、技术，都需要不断去研究和探索。尽管笔者付出了艰苦的努力，但由于水平和时间有限，对许多问题的探讨可能还不够深入，还有一些观点和结论也可能有待商榷，恳请专家与读者批评指正，提出宝贵建议。

在项目研究和本书的编写过程中，作者参考了国内外一些出版物和资料，引用资料已在书中做了标识说明，但由于编写体例的限制，难免有遗漏，有些资料可能未在书中注明，在此谨向各位作者表示由衷的感谢。本书的出版得到成都理工大学科研优秀创新团队培养计划的经费支持，在此，表示感谢！

李志刚

2013年5月

目 录

第 1 章 绪论

- 1.1 选题依据及意义 1
- 1.2 空间信息技术在矿区开发中的应用现状及发展趋势 5
- 1.3 本书研究内容与结构框架 19
- 1.4 本书主要成果与创新点 21

第 2 章 矿区可持续发展管理的信息需求与空间分析 24

- 2.1 矿区可持续发展面临的问题 25
- 2.2 矿区可持续发展管理与空间信息服务需求分析 34
- 2.3 矿区可持续发展空间特征与空间关系 44

第 3 章 矿区可持续发展空间信息服务系统研究 49

- 3.1 SOA 架构与服务式 GIS 技术 49
- 3.2 矿区可持续发展管理空间信息服务系统的结构 53
- 3.3 矿区可持续发展空间信息服务系统功能设计 58
- 3.4 系统实现的方式和关键技术 63
- 3.5 矿区信息增值服务模式 72

第 4 章 矿区开发管理空间数据整合与建库 80

- 4.1 矿区可持续发展管理信息的内容与特征 81
- 4.2 面向服务的数据整合技术 86
- 4.3 矿区可持续发展管理数据库建设流程与内容 98
- 4.4 基于 UML 和 Geodatabase 的空间数据库模型的建立 108



第 5 章 基于 SD 与 GIS 的矿区可持续发展规划决策模型与仿真

- 5.1 系统动力学及其建模方法 123
- 5.2 矿区可持续发展规划决策模型的建立 128
- 5.3 矿区产业可持续发展规划模型的仿真与发展建议 142

第 6 章 矿区可持续发展水平评价

- 6.1 矿区可持续发展评价的基本理论与思路 157
- 6.2 矿区可持续发展评价指标体系和评价方法的分析与
比较 160
- 6.3 矿区可持续发展评价指标体系构建 167
- 6.4 确定评价指标的方法 174
- 6.5 基于 DEA 方法的矿区可持续发展能力评价与实证 182

参考文献

第1章 绪论

1.1 选题依据及意义

1.1.1 选题的背景

矿区是人类生产实践活动发展的产物，与矿区的含义等同或相近的提法是矿业集镇、矿业城市。矿区的含义有多种表述方式，但归纳起来有狭义和广义两类表述。狭义的表述主要有两种：一是指由于行政上或经济上的原因，将若干个邻近矿井划归一个行政机构统一管理，其所属的井田合起来称为矿区；另一种说法是矿田的范围很大，需要划作若干区域分阶段分步骤地进行勘探和开发，由此将统一规划和开发的矿田或矿田的一部分称为矿区。而广义的表述有以下几种：郭达志等（1996）描述的矿区是一种特殊的地理区域，其地理空间要素和社会经济要素内容广泛、综合、复杂、变化迅速，是一种复杂的、动态的、开放的社会经济区域；吴立新（2009）认为，矿区以矿物开采、加工为主导，应有完整的生产工艺、地面运输、电力供应、通信调度、生产管理及生活服务等设施，是一种特殊的地理区域，其地理空间要素和社会经济要素内容广泛、综合、复杂、变化迅速，是一种复杂的、动态的、开放的社会经济系统；乌兰（2010）则认为，矿区是因矿产资源开发而形成，并且受资源开发直接影响的一个区域，它主要由多个矿井和附属企业，以及一些为矿井生产服务的部门所组成，是由相互区别、相互作用和影响



的各个部分有机地连在一起，完成特定功能的集合体。显然将矿区界定为矿山企业或矿业行业是不正确或不准确的。即界定矿区的概念是以矿产资源开发、加工为主要产业形成的，并走矿业产业化发展道路的社区，矿区在时间与空间上是连续和有限的经济社会区域，它有两个方面的含义（陈玉和，2000）：一是矿区是一个整体，但不是一个企业实体；另一方面，矿区是一个功能结构比矿山企业更为多样化的社区，还是一个具有经济产业结构、资源结构、生态结构等完整的功能复杂系统。但随着资源的不断开发，矿区生产的社会化程度不断深入，其辐射的空间范围也随之扩大。目前，我国许多矿区不只限于生产作业和生活区，而逐渐演变成建制乡镇，或与所在地行政单元合并为较大的县（市）工业园区。因此，矿区可以进一步定义为：“矿区是指以开发利用矿产资源的生产作业区和职工及其家属生活区为主，并辐射一定范围而形成的经济与行政社区”（王广成等，2006）。

环境、资源、经济与社会发展是人类社会实现可持续发展的核心问题。矿区的发展就是矿区社会生产的发展，而矿区社会生产的发展既取决于矿区自身的自然资源与生态环境，又取决于矿区的区域优势及社会资源优势。矿区的可持续发展是以矿区的资源、生态环境、经济等各部分协调发展为基础，属于区域可持续发展的范畴。其中生态可持续与资源可持续发展是两个基础，经济持续是条件，社会持续是目的。可持续发展是在发展的有利条件与制约因素间找到的一种平衡，这种平衡不是保守的、无所作为的，而是一种向前发展的、具有创造性的。矿区的可持续发展涉及多种因素，如资源、环境、人口数量、空间区位，以及产业发展战略等。据有关专家调查（乌兰，2010）：在我国年产 500 万吨以上的煤炭矿区就有 55 处，年产 1000 万吨以上的矿区有近 20 处；由矿区演变过来的矿业城市

超过 100 个, 占我国城市总数的 1/5。为此, 矿区能否实现可持续发展不仅关系到矿区自身的生存和发展, 对全国可持续发展规划的实施也有较大的影响。因此, 矿区可持续开发管理的问题, 无论在学术方面还是应用方面都有很高的研究价值。

矿区是一个复杂的动态巨系统, 其可持续发展系统具有结构非线性、行为多样性、信息不确定性和状态不可逆性的特点, 因而面临着非常巨大的困难(孙玉峰, 2006)。随着地理信息技术的飞速发展与产业化, 空间信息技术为我们提供了解决问题的平台与技术。将 3S 技术及地球物理勘探技术相结合, 可以综合矿区资源、环境、生态, 以及生产和管理所需要的各种信息, 对矿区各种组成要素的空间性状、相互关系、变化过程、相互作用规律、反馈机制、调控原理等, 进行数学模拟、动态过程分析、开发预测、投资评价提供支持, 进而为矿区可持续发展提供空间信息服务。

1.1.2 研究的作用与意义

随着我国经济的不断发展, 对矿产资源的需求在数量和质量上都将不断提高。与此同时, 在开发利用资源时, 也带来了诸多日趋严峻的问题, 如资源浪费、生态环境破坏恶化、生产安全事故不断; 社会经济发展对资源(如煤炭)需求的增加, 引起资源的短缺加大, 从而影响发展; 为了解决资源短缺问题, 一方面应加大开发力度, 二要减少资源出口。目前, 许多矿区发展缓慢, 究其原因都是资源过度开发、环境被污染后, 引起资源、环境承载能力降低, 因此要合理地引导资源开采。即在保证矿区资源和环境安全的条件下, 研究合理开发矿区各种资源的措施, 提高资源的开发利用效率, 保护生态环境, 实施矿区可持续发展等问题, 就显得非常迫切。因此, 有必要研究矿区可持续开发管理的理论和技术方法, 构建矿区资源、



环境与经济发展的空间信息服务体系,对矿区资源、环境进行动态的监测和管理,实时掌握矿区资源环境所处的状态,并对其未来进行预测、模拟,从而做出调控决策。

由于我国矿区生产和管理手段的普遍落后以及矿区在发展过程中产生的历史积累问题不断显现,使得矿区资源环境状况非常严峻。采矿活动对矿区土地、水体、大气环境等的破坏,导致矿区生态环境恶化。矿区的资源和环境问题是在相互影响、相互关联中交替出现的,其治理也就具有复杂性。另一方面,据国土资源部和中国油气资源战略研究中心统计(2010),目前我国石油剩余经济可采储量 20.43 亿吨,天然气剩余经济可采储量 2.449 万亿方,如以年产石油 1.83 亿吨,天然气 500 亿方的生产能力计算,其石油的有效开采年限约 15 年,天然气约 49 年。此外,158 种矿产的人均矿产资源拥有量较低,仅为世界平均水平的 58%。这表明,矿产资源科学合理的开发和利用将是我国经济发展和社会进步面临的重要问题。由于矿业复苏,滥采滥挖等现象的泛滥,同时矿区资源环境安全、灾害等现象和问题日益突出,均对矿区发展、资源开发管理提出了严峻的考验。因此,要解决矿区实际情况和开采过程出现的各种资源开发、生态环境、经济发展等问题,需要借鉴、引入和集成不同学科的理论、技术与方法,以遥感、地理信息系统和全球定位系统为基础和核心的空间信息技术,由于其快速发展、广泛应用和明显的技术优势,成为矿业和矿区可持续发展的重要技术支持手段(杜培军等,2007)。因此,研究空间信息技术在矿区可持续开发和管理的技术方法,建立高效、规范空间信息服务平台,既可为矿区资源开发、管理和利用提供决策支持平台,促进矿区/矿业可持续发展,又能够推进空间信息技术在矿区的应用,促进矿山信息化进程和数字矿山建设(吴立新等,2004)。也可以为生态环境系统、社会经济系统治

理提供技术支持。

1.2 空间信息技术在矿区开发中的应用现状及发展趋势

1.2.1 空间信息技术发展概述

空间信息技术 (Spatial Information Technology) 是 20 世纪 60 年代以来逐步发展起来的以获取、管理、分析和应用与地理位置相关的空间信息为主的信息技术的总称 (李德仁, 2001)。广义上空间信息技术也被称为地球空间信息科学, 在国外被称为 GeoInformatics, 它以地理信息系统 GIS, 遥感技术 RS, 全球定位系统 GNSS 的理论与技术为主要内容, 同时结合计算机技术和通信技术, 进行空间数据的采集、量测、分析、存储、管理、显示、传播和应用等。在空间信息技术中, 遥感技术 (Remote Sensing, RS) 的发展是空间信息科学的重要技术支撑, 遥感数据是地球空间信息的重要来源, 它可以快速监测大面积、动态的地理目标; 地理信息系统 (Geographic Information System, GIS) 以地理空间数据库为基础, 在数据处理、组织和管理方面具备很大的优势, 更重要的是它为地球空间信息科学提供了对空间信息的分析、综合、认识、表达、理解等多种功能, 因此 GIS 成为了空间信息技术应用的重要领域; 全球导航卫星系统 (Global Navigation Satellite System, GNSS) 作为一个全球性、全天候、高精度、多功能的导航、定位和定时的系统, 它主要用于提供目标的空间位置, GNSS 既可以作为独立的自主数据源, 又可以精确定位遥感信息。在国际民航组织 (ICAO) 未来导航系统 (FANS) 会议上, 全球导航卫星系统 (GNSS) 被定义为: 它是一个全球性的位置和时间测定系统, 包括一种或几种卫



星星座、机载接收机和系统完好性监视（党亚民等，2007）。空间信息技术为空间信息资源的获取、处理、网络服务和应用提供了有力的支持，在工业、农业、国防、交通、环保等众多领域得到广泛应用，并且不断拓展范围，取得了巨大的社会效益和经济效益，受到世界各国的重视和社会公众的关注，是当前 IT 界及相关应用行业的热门技术之一。

本书中的空间信息技术的应用主要涉及 GIS、遥感技术、空间数据库。

1. GIS 技术发展趋势

GIS（地理信息系统）这一术语是由加拿大测量学家 R.F.Tomlinson 在 1963 年首先提出的，同时，他建立了世界上第一个实用的地理信息系统 CGIS，用于自然资源的管理和规划。GIS 是计算机技术、地理学、地图学等多学科综合的技术，而且 GIS 是随着计算机技术、网络技术、三维技术、图像处理等技术的发展而不断变化的，因此对 GIS 准确定义是不容易的。目前，它的概念已从 20 世纪 60 年代的“系统”拓展为“系统、工具箱、产业、学科”四位一体（毛政元等，2003）。虽然 GIS 是一门涉及多学科的新兴边缘学科，但其主要内容仍然是计算机科学，而地图可视化、数据库、空间分析等是它的基本技术。GIS 的发展源于对土地属性信息与相应几何表达的集成和空间分析的需求。因此，随着计算机和信息技术的发展，GIS 迅速地变化着，主要呈现以下发展态势：

（1）GIS 网络化。因特网的迅速发展，使得在因特网上实现 GIS 应用日益引起人们的关注。一般把因特网中的 GIS 称为 WWW GIS 或 Web GIS，中文名为万维网地理信息系统，建立万维网 GIS 服务器及实现相关技术成为研究 GIS 的热门技术。

（2）开放式地理信息系统（Open GIS）。它是指在通信环境下，

根据行业标准、接口 (Interface) 而建立的 GIS。OPen GIS 是为了使不同的 GIS 软件之间具有良好的互操作性, 并实现异构分布数据库中信息共享。所以, Open GIS 是未来网络环境下 GIS 技术发展的必然趋势。

(3) 时态 GIS (TemPoral GIS)。时间和空间不可分割地联系在一起, 跟踪和分析空间信息随时间的变化, 是 GIS 的一个目标。这样的 GIS 就被称做时态 GIS。由于记录历史数据的需要, 研究 GIS 的时态问题成为当今 GIS 领域的一个重要方向。

(4) 虚拟 GIS。就是 GIS 与虚拟环境技术的结合。虚拟环境 (Virtual Environment) 也称虚拟现实 (Virtual Reality), 是当代信息技术高速发展、各种技术综合集成的产物, 是一种最有效的模拟人在自然环境中视、听、动等行为的高级人机交互技术。GIS 与虚拟环境技术相结合, 将虚拟环境带入 GIS, 将使 GIS 更加完美。虚拟环境将能更有效地管理、分析空间实体数据。因此, 开发虚拟 GIS (VGIS) 已成为 GIS 发展的一大趋势。

(5) 多媒体 GIS (MGIS)。应用多媒体技术必将对 GIS 的结构、功能等设计产生影响, 使其表现形式更丰富、更灵活。MGIS 将文字、图形 (图像)、声音、色彩、动画等技术融为一体, 拓展了 GIS 应用的领域。因此, 在 GIS 领域运用多媒体技术, 乃至出现具有良好集成能力是 MGIS 技术发展的必然趋势。

2. 遥感技术发展趋势

遥感 (Remote Sensing, RS) 是 20 世纪 60 年代发展起来的对地观测综合性技术。通常有广义和狭义的理解 (梅安新, 2001): 广义理解, 泛指一切无接触的远距离探测, 如对电磁场、力场、机械波等的探测; 狭义理解, 遥感是应用探测仪器, 不与探测目标相接触, 从远处把目标的电磁波特性记录下来, 通过分析, 揭示出目标



的特征及其变化的综合性探测技术。遥感技术是一个综合性的系统，它涉及航空、航天、光电、物理、计算机和信息科学以及诸多的应用领域。目前，遥感技术已被广泛应用于军事侦察、测绘制图、气象预报、国土资源勘察、环境质量评价和自然灾害监测与防治，以及地球系统科学等领域。遥感作为空间数据采集手段，它是一种不通过直接接触目标物而获得其信息的探测技术，已成为 GIS 的主要信息源与数据更新途径，同时，GIS 的应用又进一步支持遥感信息的综合开发与利用。在 GIS 领域，遥感通常用于获取和处理地球表面的信息，尤其是自然资源与人文环境方面的信息，为资源、环境特征的空间分析提供定位、定性和定量的数据，并最后反映在相片或数字影像上。因此，遥感已经成为环境研究中极有价值的工具，而且不同学科的专业人员不断地发现航空遥感不同数据在各领域内的潜在应用。

目前，高空间和高光谱分辨率是卫星遥感影像获取技术的总发展趋势。雷达遥感技术由于具有全天候、全天时影像等优点，其应用将更为广泛，而以地球为研究对象的综合对地观测数据获取平台将是遥感技术发展的重要方向；以遥感信息技术的集成与优化社会资源配置的应用研究（许兆军，2009）；遥感信息模型的发展方面，遥感信息机理模型的发展和拓宽，特别是不确定性遥感信息模型与人工智能决策支持系统的开发与综合应用也将是一个重要研究应用方向（陈海健，2011）。同时，多角度测量、测高和成像技术也正逐步走向实用，目标探测将由二维向三维拓展。这些发展与趋势，为空间技术的综合应用和产业化发展提供了充足的空间信息源。随着遥感技术的发展，测绘将不仅停留在地球上，还将向外层空间发展。联合国有一个和平利用外层空间的计划，要在全世界普及空间技术。

3. 全球定位系统发展趋势

全球导航卫星系统 GNSS 由全球设施、区域设施、用户部分,以及外部设施构成,其中,全球设施是 GNSS 的主要组成部分,是 GNSS 最基础性的设施组件。全球导航卫星系统 GNSS 包含了美国 GPS、俄罗斯的 GLONASS、中国的 Compass(北斗)、欧盟的 Galileo 系统,可用的卫星数目达到 100 颗以上。在当前 GNSS 发展过程中,美国的 GPS 现代化、俄罗斯的 GLONASS 现代化、欧盟的 GALILEO 计划和中国“北斗二号”都将起到重要作用。

(1) 美国 GPS 现代化。目前,美国 GPS 已成为世界上应用最广泛的卫星定位导航系统,它由空间部分、监控部分和用户部分组成。空间部分由高度为 20 183km 的 21 颗工作卫星和 3 颗在轨热备份卫星组成卫星星座;监控部分包括监控站、注入站和主控站;用户即 GPS 接收机。美国的 GPS 现代化举措主要包括取消 SA 政策、新增民用 L2C 码和军用 M 码、提高控制部分性能、研制并发射新型 BlockIIF 卫星和 BlockIII 卫星,其整个 GPS 现代化的实质是要加强 GPS 在美军现代化战争中的支撑和保持全球民用导航领域中的领导地位。

(2) 俄罗斯 GLONASS 现代化。GLONASS 是前苏联 20 世纪 70 年代中期开始建设的与美国 GPS 类似的卫星定位系统,也由卫星、地面监控站和用户设备 3 部分组成。它由 24 颗卫星组成卫星星座(21 颗工作卫星和 3 颗在轨备份卫星)均匀分布在 3 个轨道平面内,卫星高度为 19 100km,轨道倾角为 64.8° ,卫星运行周期为 11 小时 15 分。GLONASS 与 GPS 极为相似,主要区别在于,前者采用频分制,后者采用码分制,对于频分制,每颗卫星采用不同的射电频率。此外,GLONASS 采用的 C/A 码长度比 GPS 的 C/A 码短一半,而码率又比 GPS 的 C/A 码率低一半。俄罗斯也正实施 GLONASS 现代化,